Suppl. 3

ISSN 1346-9894

水研センター研報
Bull.Fish.Res.Agen.

LIBRARY
Pacific Islands Fisheries Science Center
2570 Dole St.
Honolulu, Hawaii 96822-2396

水産総合研究センター
研究報告

別冊 3

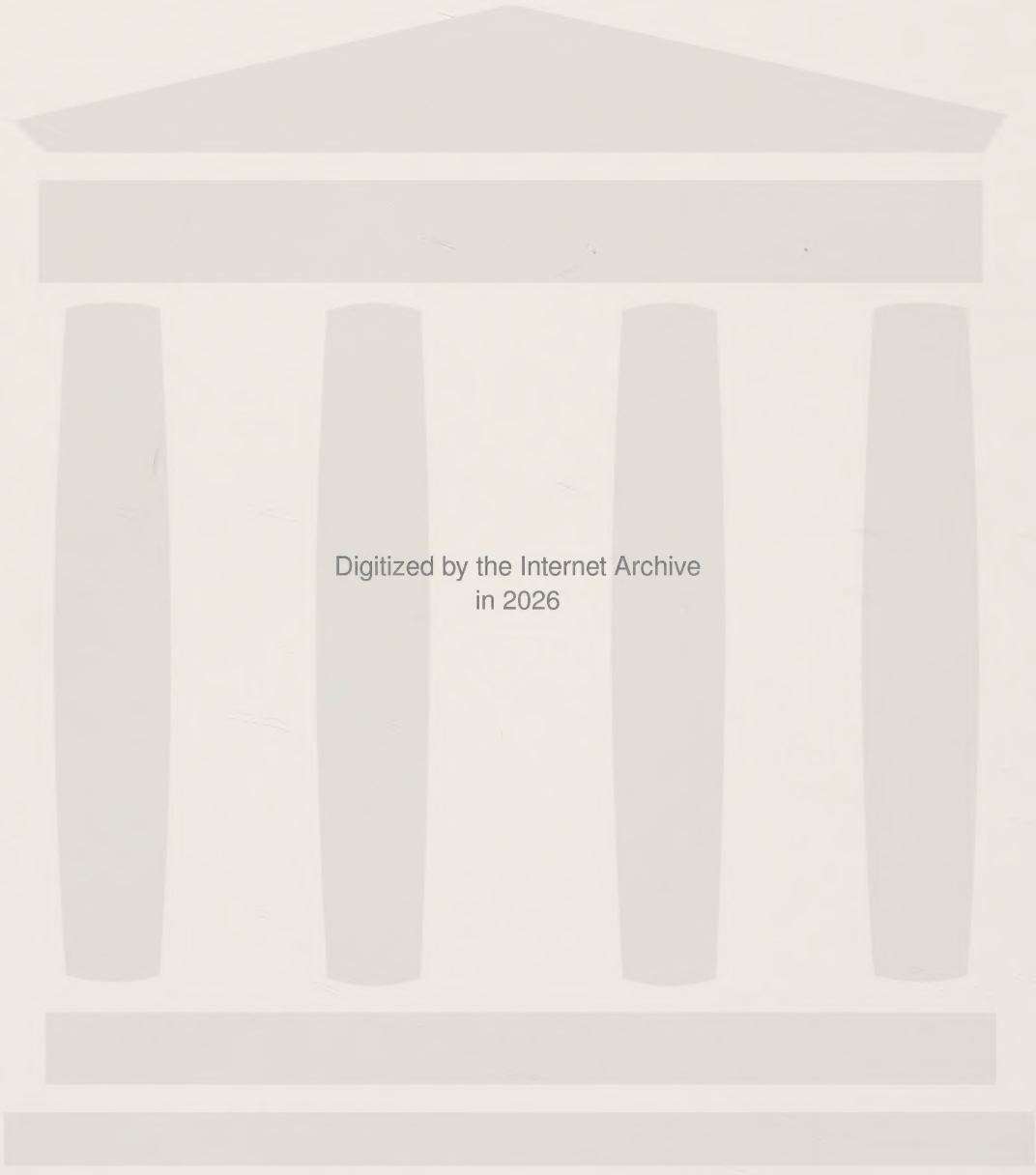
平成17年3月

BULLETIN OF
FISHERIES RESEARCH AGENCY

Supplement No.3
March 2005

特別号:
独立行政法人水産総合研究センターシンポジウム
アサリの生産を支える生物生産環境の問題点と新たな研究視点
－ アサリは里海の主役 －
プロシーディング

独立行政法人 水産総合研究センター
神奈川県横浜市
FISHERIES RESEARCH AGENCY
Yokohama, Kanagawa, Japan



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/bulletin-japan-fisheries-research-education-agency_2005-03_supplement-3

序

アサリは，日本全国の淡水の影響がある内湾の砂泥干潟に生息する二枚貝である。日本人にとって馴染が深く，また，食材としての利用価値が高く，沿岸漁業にとって重要な水産生物である。

日本におけるアサリの漁獲量は二枚貝の中で最も多く，1970 年代半ばまでは全国で年間 12 ～ 16 万トンの間で安定していた。しかし，1985 年以降，九州および瀬戸内海における漁獲の低下が著しく，1997 年の漁獲量は全国では 4 万トン程度に減少した。瀬戸内海における 2001 年の漁獲量，2,820 トンは，1985 年の最大漁獲量，45,023 トンの 6 %にまで低下した。

アサリは，卵からふ化した浮遊幼生の生活期の後に底質に着定・埋没し，入水管から低層水中の植物プランクトンを餌料として摂取する。アサリの生活史や生態的特徴から資源減少の要因として，親貝の減少に伴ったふ化幼生の減少，稚貝が定着する底質環境の悪化，植物プランクトンの減少等餌料環境の悪化，アサリを捕食する生物の生息等が考えられるが，資源減少の原因は解明されていない。そこで，この漁獲量減少の原因を究明し，アサリ資源回復の対策を講じることが急務となっている。

このような背景において，既往の知見の整理及び解析を通してアサリ資源減少の原因を考察するとともに，今後取り組む必要のある研究課題を抽出することを目的として，独立行政法人水産総合研究センターは，シンポジウム「アサリの生産を支える生物生産環境の問題点と新たな研究視点」を開催した。シンポジウムでは，アサリ資源減少の要因として特に重要と考えられるアサリをとりまく環境の問題点およびアサリの初期生態の特性の両面から資源減少の問題を検討した。

本書は，シンポジウムにおける講演および討論を取りまとめたものである。本書が，今後のアサリ資源減少原因究明のための研究推進方向の検討，研究の深化および資源回復のための対策技術開発の検討において適切な素材として役立てば幸いである。

平成１７年３月

瀬戸内海区水産研究所長

山田　久

水産総合研究センター研究報告

別冊第３号　　平成17年3月

目　　次

序

セッション1：アサリをとりまく環境に関する問題点

① 干潟二枚貝の生産過程と餌料環境
伊藤　絹子・加賀　敏樹・佐々木　浩一・大森　迪夫 …… 1

② アサリ漁場内の底質環境とその特性
山本　正昭 …… 17

③ 貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響
日向野　純也 …… 27

④ 内湾ベントスにおける地域個体群間ネットワークの重要性
風呂田　利夫 …… 35

⑤ コメンテーターの総括（セッション1） …… 47

セッション2：アサリの初期生態を巡る最近の知見

① 東京湾におけるアサリ浮遊幼生の動態
粕谷　智之 …… 51

② 東京湾におけるアサリ幼生の移流過程の数値計算
日向　博文・戸簾　幸嗣 …… 59

③ アサリ幼生の干潟への侵入機構
黒田　伸郎 …… 67

④ アサリ初期生態解明のための生化学的手法の利用
浜口　昌巳 …… 79

⑤ コメンテーターの総括（セッション2） …… 83

特別講演

アサリ研究に望むものと沿岸生態系の現状 …… 87
菊地　泰二

総合討論 …… 93

干潟二枚貝の生産過程と餌料環境

伊藤絹子[*2]・加賀敏樹[*2]・佐々木浩一[*1]・大森迪夫[*1]

Biological Production Process and Food Environment for Bivalves in Tidal Flat.

Kinuko ITO[*1], Toshiki KAGA[*2], Koichi SASAKI[*1], and Michio OMORI[*1]

Abstract A combination of ecological research, field experiments and laboratory experiments was carried out to analyze the biological production process and food environment for bivalves in a tidal flat around Sendai Bay. Both field experiments and stable isotope analysis indicated that the important nutritional resources for *Ruditapes philippinarum* and *Nuttallia olivacea* are benthic diatoms, with a lower contribution of detritus. *Macoma contabulata* and *Corbicula japonica,* inhabiting the same site with *Nuttallia olivacea,* are supplied with different resources that up to now have been unknown. The food requirement for *Nuttallia olivacea* is estimated to be about 1500 mg C m^{-2} day^{-1} at a high-density location in the tidal flat of the Natori River in spring. Conditions affecting food availability may be linked with physical environmental conditions, and clarification of the coupling mechanisms between the biological production process and physical conditions is important for the various microenvironments. *Nuttallia olivacea* showed marked differences in growth at each location. Most available conditions are considered to be moderate current velocity with shallow depth, low silt-clay content and high chlorophyll *a* in the sediment, and presence of a wide variety of diatom species with varied size compositions. We propose a fill-in sheet for evaluation of food environment and microenvironment for bivalves at different developmental stages.

Key words: diatom, bivalve, detritus, food resources, microenvironment, tidal flat

豊かな海は生物と環境との巧みなバランスの上になり立っていると考えられる。近年のアサリ資源の減少は深刻な問題であるが，自然は刻々変化するものであり，様々な要因が複雑に絡み合った結果として現場の生態が捉えられること，さらには生物と環境との関係は常に流動的であることから，その原因究明には多くの困難が伴う。アサリ資源の保護・育成は漁業振興の問題だけに留まらず，沿岸域の環境保全の上からも非常に重要である。

イソシジミは低塩分耐性がアサリより強く，河口域に広く分布がみられる種である（伊藤，大方1998）。イソシジミの水管はイシガレイ稚魚の主要な食物であること，捕食された水管は直ちに再生が始まるという事実もわかり（Sasaki *et al.* 2002），河口域物質循環系に果たす役割が非常に大きいと考えられている。名取川河口では1995年の大洪水でアサリ資源が激減した後，アサリに替わって漁獲されている。

本研究では干潟二枚貝の餌料環境に関して，以下に示すような疑問点や問題点をとりあげ，現在までに明らかになってきたことを整理して考察したい。（1）二枚貝類の餌料は植物プランクトンとデトライタスの一括りで扱われることが多いが，真の栄養源は何か？（2）二枚貝の生産を支えるために必要な食物量はどのくらいか？

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*1 東北大学大学院・農学研究科（Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University., Amamiyamachi 1-1, Tsutsumidori, Aoba, Sendai 981-8555, Japan）

*2 独立行政法人さけ・ます資源管理センター（National Salmon Resources Center, Nakanoshima 2-2-4-1, Toyohira, Sapporo, 062-0922, Japan）

(3) 場所により成長が異なる主要因は何か？ (4) 物理的環境条件との関係では何が問題になるのか？ (5) 餌料環境はどのように評価すればよいのか？

本研究ではフィールドの一般的な生態調査に加えて，微環境レベルの観測，現場実験，室内飼育実験を組み合わせることにより，生物生産過程と環境との関係を総合的に捉えるように努力した。

最近10年間に亘り，仙台湾周辺水域（名取川河口，広浦，蒲生干潟）を中心に行なわれてきた研究成果をもとにイソシジミ，アサリを中心に紹介する。

材料と方法

1．仙台湾周辺水域の二枚貝の生態・環境調査

調査水域の概要ならびに調査定点を**Fig.1**に示す。1994年～2002年にかけて，名取川河口域，広浦，蒲生干潟において生態学的調査（分布密度，現存量，胃内容物の検索）と環境調査を実施した。水温，塩分は現場で測定し，底質の粒度，シルト含有率，Chl. *a* 濃度，微細藻類の種類組成についてはサンプルを持ち帰り分析した。底土は底質の深さごとの特性を知るために，直径5㎝，長さ20㎝のスチロール管をさし込んで，底土を表面から深さ1㎝まで，4㎝から5㎝，9㎝から10㎝までの3層に分けたサンプルを実験室に持ち帰った。観察用のサンプルは底土1gを10%中性ホルマリン5mLに懸濁させた。走査型電子顕微鏡用には2.5%グルタールアルデヒドで固定した。微細藻類およびデトライタスの生物顕微鏡用プレパラートについては屈折率を高めて観察をしやすくするために，底土サンプルの懸濁液を，Pleurax（マウントメディア）でスライドグラス上に包埋した。安定同位体分析用サンプルは凍結保存した。

2．微環境レベルによる生物と環境に関する調査

河口域は河川水や海水の流入の仕方が地形により複雑に変化する。そのため数メートルのスケールで著しく環境の異なる場所が存在する。このような微環境の違いは，そこでの生物過程と密接に関連すると考えられるので，微環境の特性を把握するために一般的な環境観測とは別に，水層を10㎝単位で採取するための採水器と，間隙水を採取するための装置を考案した（**Fig. 2**）。この装置を用いて潮汐に伴う水の流動と栄養塩の関係を調べるため16時間連続観測を行なった。

3．二枚貝（イソシジミ）の現場成長実験

現場におけるイソシジミの成長速度を測定するために，名取川河口域において，環境の異なる数箇所で，マーキングしたイソシジミのケージ実験をおこなった。イソシジミを20個体ずつ，目合4㎜のケージに入れて底土中に埋めた。その際，ケージは上面が底土表面と一致するように設置した。ケージのサイズは25×25×15㎝（縦，横，高さ）で，形状のゆがみを少なくするために，太さ0.5㎜のナイロン製のモジ網を用いた。イソシジミは原則として1～2ヶ月ごとに再捕して，殻長と重量を測定して成長速度を求め，翌日再び放流した。

4．二枚貝の摂食量と成長に関する室内飼育実験

アサリ，イソシジミの摂食量と成長の関係を求めるために，室内飼育実験を行なった。採集してきた個体は，海砂を敷いた6リットルの円形水槽に入れて数日間馴致させた。個体識別するために飼育は1個体ずつ分けて行なった。1,000mLビーカーに海砂を2㎝の厚さに敷き詰め，ろ過海水を500mLずつ入れて，飼育個体を入れた。餌料として培養した珪藻*Skeletonema costatum*（クロロフィル*a* 約1,000μg/L）を1回あたり5mL与えた。給餌回数の異なる実験区を設けて，15日間の試験を行なった。それぞれの実験区における試験個体数は7～10個体である。飼育水は毎日交換した。摂食量は与えた食物量と残った食物量のクロロフィル量の差として算出して，摂食量と成長との関係を求めた。

デトライタスを含む自然水域の底土懸濁液を用いた成長実験の場合には，餌料溶液はCODとして50～60ppmになるように調整した。採集場所は蒲生干潟，名取川河口，広浦，貞山運河，砂押川河口である（**Fig. 1**）。

5．二枚貝および微細藻類の炭素・窒素安定同位体比（$\delta^{13}C$・$\delta^{15}N$）の測定

炭素・窒素安定同位体比は食性解析に有効であると考えられており（Incze *et al* 1982，和田　1986），本研究においても二枚貝栄養源の特定のために分析した。名取川河口域，広浦，蒲生干潟より採集した二枚貝，アサリ（*Ruditapes philippinarum*），イソシジミ（*Nuttallia olivacea*），ヤマトシジミ（*Corbicula japonica*），サビシラトリガイ（*Macoma contabulata*），ソトオリガイ（*Laternula marilina*）を分析直前まで冷凍保存した。サンプルを凍結乾燥した後，脱脂処理を施して，粉末にした後，錫のコンテナーに封入後，質量分析計（Finnigan MAT DELTA Plus）により，$\delta^{13}C$と$\delta^{15}N$について分析した。水中懸濁物についてはGF/Fフィルターに捕集後，塩酸処理を施し，60℃で乾燥して分析した。底質サンプルについても塩酸処理を施し乾燥後分析した。

安定同位体比による解析で大きな問題は基礎生産者の値である。本研究では現場で培養した珪藻（底生および浮遊珪藻）について$\delta^{13}C$と$\delta^{15}N$の分析を行なった（伊

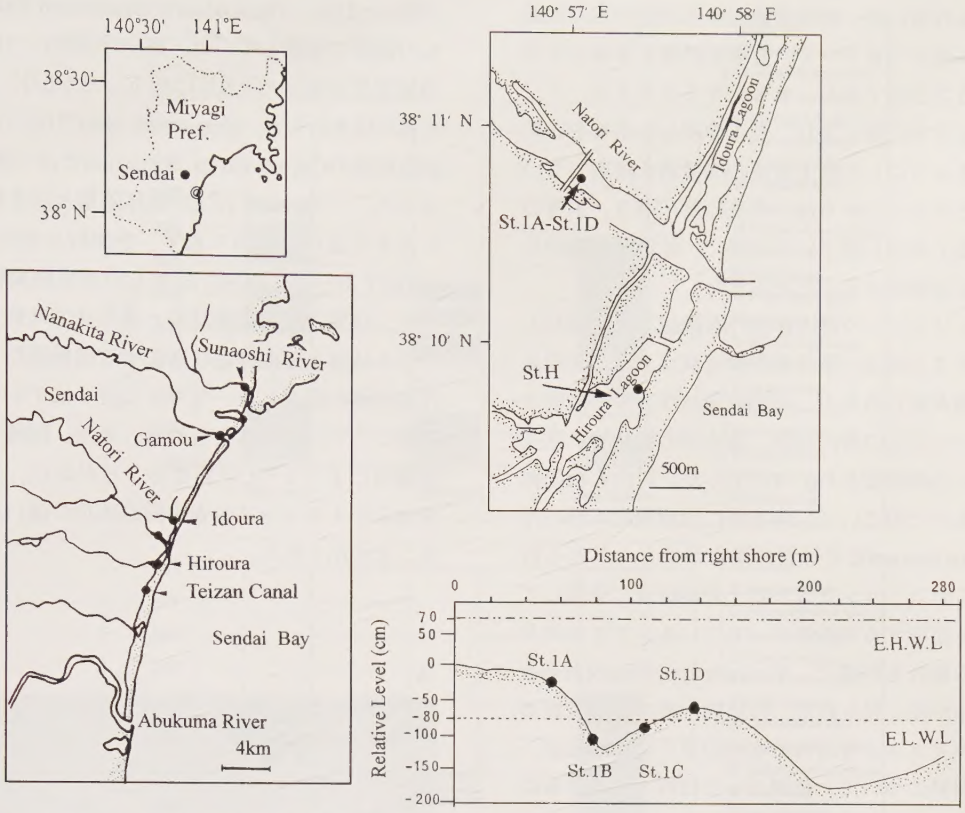


Fig. 1. Map showing the location of the sampling stations and the relative level of the experimental sites. E. H. W. L.: Extreme high water level of spring tide. E. L. W. L.: Extreme low water level of spring tide.

藤2002)。透析膜の性質（光，O_2，CO_2，栄養塩などは透過するが，バクテリアなどの粒状有機物は透過しない）に着目し，出来る限り現場の環境に近い条件のもとで，種別に現場における生育状況を把握した上で，安定同位体比の情報を得ることを試みた。珪藻は宮城県名取川河口域水より単離し，松平培地で継代培養している浮遊珪藻の*Skeletonema costatum, Thalassiosira pseudonana*，底生珪藻の*Entomoneis alata, Cylindrotheca closterium*の4種類である。

結　果

1．干潟二枚貝の餌料について

アサリ，イソシジミ，ヤマトシジミ，サビシラトリガイ，ソトオリガイの胃内容物の観察によれば，摂食物は微細藻類とデトライタスであった。干潟で観察されるイソシジミは生息深度に応じて殻長の違いがみられた。殻長10㎜以下の稚貝では，底土表面から深さ5㎝以内（貝の前縁部の位置）に生息するが，成長に伴い，より深い層で生活するようになり，殻長25㎜以上の個体では深さ15㎝まで潜って生活する。イソシジミの摂食行動を現場で観察すると，水管を底表に沿って伸ばしている状態は

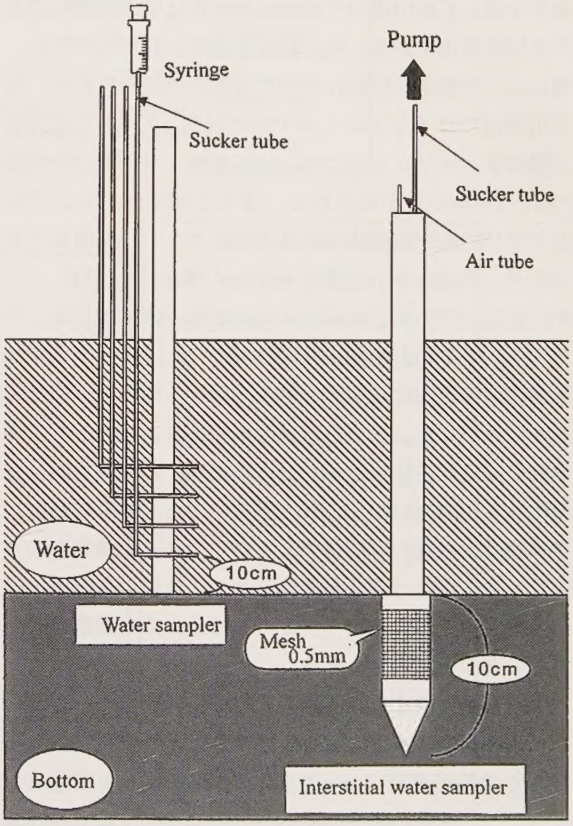


Fig. 2. Diagram of special water sampler for investigating micro environmental conditions near to, and in the bottom bed.

ほとんどみられないが，砂の表面にある水管の穴の周囲には微細な水流ができていて，食物を摂取する様子を肉眼で確かめることができた。サビシラトリガイは，イソシジミよりもさらに深く潜り，長く伸ばした水管を砂粒上に這わせるようにして底土表面の堆積物を摂取している。アサリとヤマトシジミは，殻長程度に潜り，水管の触手のみが底土表面に出ている状態で，付近の懸濁物を摂取する様子を観察することが出来た。

Fig. 3はイソシジミの胃内容物の顕微鏡写真と砂粒上のデトライタスと珪藻の電子顕微鏡写真である。多種多様な底生珪藻が見られるが，浮遊珪藻はほとんど観察されない。イソシジミの胃内容物，海水中の粒状物，底土中の粒状物の出現頻度をFig. 4に示した。胃内容物の組成は底土のものと似ていて，海水中に出現頻度が高い浮遊珪藻の*Skeletonema*などは胃の中にはほとんどみられなかった。これはイソシジミが底土表面付近に懸濁している有機物を摂取する可能性を示している。アサリやヤマトシジミの場合も同様で，*Navicula* spp. *Nitzschia* spp. *Cymbella* sppが多く見られた。粒状物の多くは形状が不定で，デトライタスと呼ばれるものが多く見られるが，二枚貝類の餌料について，種類ごとに特性を見出す事は難しかった。

そこで，安定同位体比による比較を行った。Fig. 5は蒲生干潟と名取川河口で採集した二枚貝類の炭素・窒素安定同位体比である。同じ場所で採集されたものでも，種によって安定同位体比が異なる場合が認められた。名取川河口ではイソシジミとヤマトシジミのδ^{13}Cは大きく異なる。イソシジミでは−18‰前後，ヤマトシジミは−24‰で6‰の差が見られた。蒲生干潟ではイソシジミとアサリの安定同位体比はほぼ同じで，−18‰前後であったが，サビシラトリガイは著しく異なり，δ^{13}C・δ^{15}Nともに，アサリ，イソシジミより重い値を示した。サビシラトリガイは堆積物を摂取しているにもかかわらず，堆積物の安定同位体比とも著しく異なっていた。同じ場所から採集した二枚貝をろ過海水に入れ，それぞれの排泄物の安定同位体比分析を行った結果，どの種も底土有機物の安定同位体比とほぼ同じ値であった（伊藤未発表）。排泄物は未吸収の有機物であるから，底土堆積物を取り入れ，その中の一部分がそれぞれの二枚貝の体物質に同化されているのであろう。この一部分の中身が種により質的に異なると考えられる。

二枚貝が摂取する珪藻類の安定同位体比について検討してみる。Table 1は現場培養実験により求められた種類ごとの増殖速度（μ），POCおよびPON生成速度，δ^{13}C・δ^{15}Nのリストである。δ^{13}Cについては浮遊珪藻類の場合には5月，7月，9月の値に大きな差異はなく季節による変化は小さかった。*Skeletonema costatum*では−19‰〜−21‰，*Thalassiosira pseudonana*では−18‰〜−21‰の範囲で変動していた。底生珪藻類についてみると，増殖速度が低かった9月に低下したが5月，7月では著しく高い値を示した。*Entomoneis alata*では−11‰〜−18‰，底生珪藻の*Cylindrotheca closterium*では−13‰〜−18‰であった。一方，δ^{15}Nは浮遊珪藻類と底生珪藻類との間に大きな違いは認められず，季節的な変化も小さく，6〜9‰であった。現場で採集した水中懸濁物，底質サンプル，珪藻の培養実験結果と合わせて考察すると，イソシジミは底土表面付近に懸濁する微細藻類（底生および浮遊珪藻の両者）を，ヤマトシジミはデトライタスを栄養源にしていると考えられる。また，同種であっても生息場所によりδ^{13}Cが異なることがあり，それは基礎生産者やデトライタスの安定同位体比の違いを反映していることが示された。

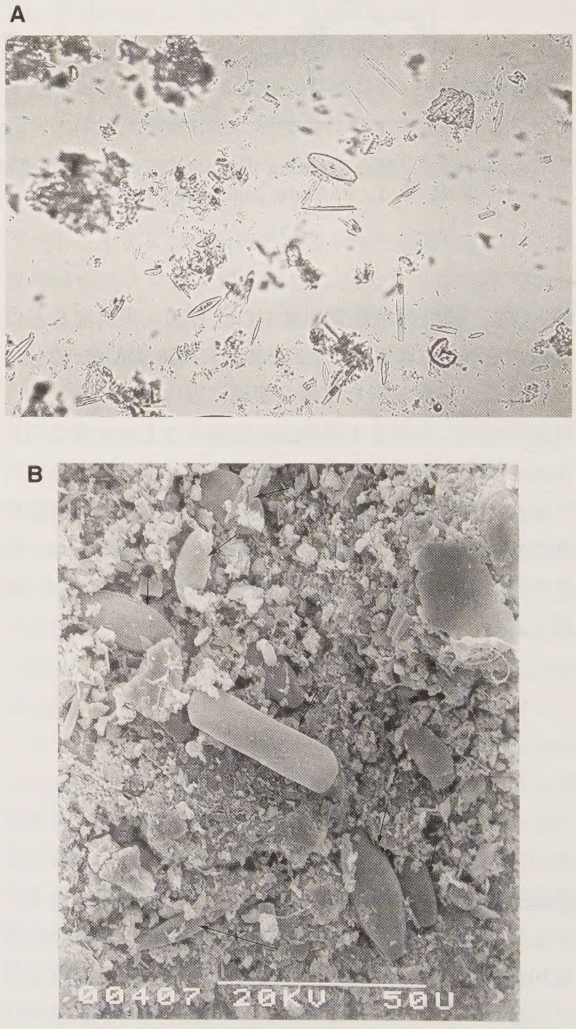


Fig. 3. (A) Light micrograph of stomach contents of *Nuttallia olivacea*. (B) Scanning electron micrograph of particles, such as diatoms and detritus attached to sand collected from the Natori River.

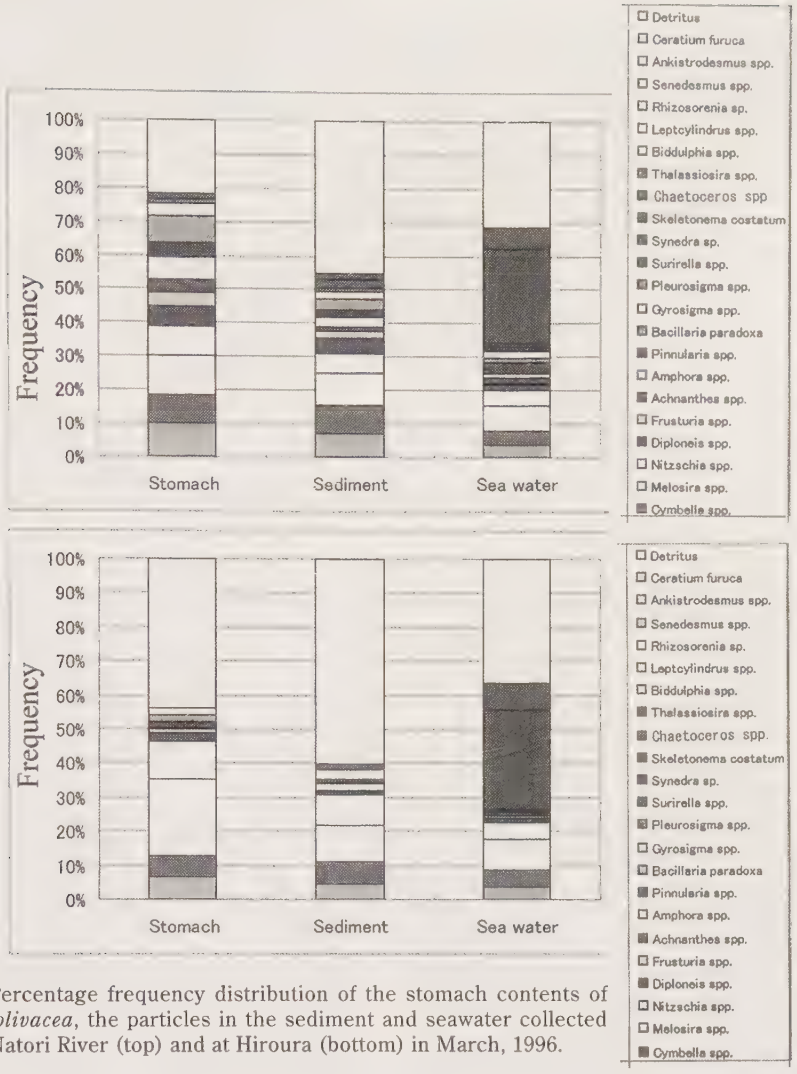


Fig. 4. Percentage frequency distribution of the stomach contents of *Nuttallia olivacea*, the particles in the sediment and seawater collected from the Natori River (top) and at Hiroura (bottom) in March, 1996.

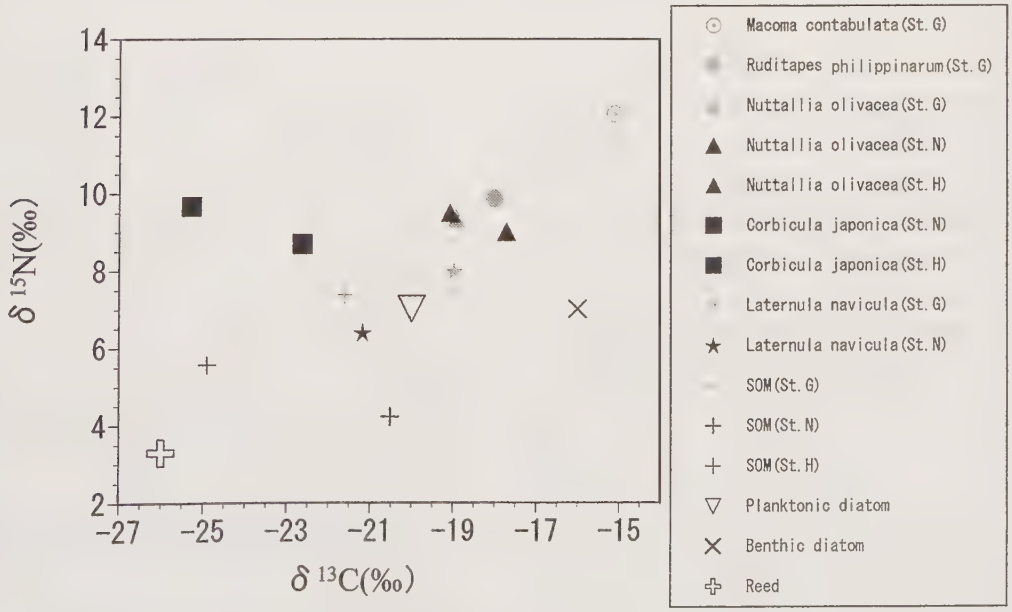


Fig. 5. Plots of average δ^{13}C vs. δ^{15}N for bivalves and SOM collected in the tidal flat and diatoms cultured in the field. SOM: sedimentary organic matter,
St. G: Gamou tidal flat, St. N: Natori River, St. H: Hiroura lagoon.

Table 1 Results of field incubation of planktonic diatoms.(*S. costatum* and *T.pseudonana*) and benthic diatoms (*E.alata* and *C. closterium*) using dialysis membrane tubes in the Natori River in 1998.

Experimental period	Species	Growth Rate(μ) d day-1	C Production mg m-2day-1	N Production mg m-2day-1	δ13C ‰	δ15N ‰
27 May - 30 May '98	*Skeletonema costatum*	0.75	45.49	5.4	-19.17	7.59
	Thalassiosira pseudonana	0.64	44.17	5.89	-18.81	7.66
	Entomoneis alata	0.59	42.13	5.27	-13.28	8.48
	Cylindrotheca closterium	0.62	30.86	3.86	-15.61	8.5
7 July - 10 July '98	*Skeletonema costatum*	1.42	63.58	7.49	-20.86	7.1
	Thalassiosira pseudonana	1.44	100.1	14.19	-19.72	7.51
	Entomoneis alata	1.6	100.82	10.96	-11.08	8.28
	Cylindrotheca closterium	1.51	27.5	3.65	-13.17	6.97
5 Sep. - 8 Sep. '98	*Skeletonema costatum*	*	*	*	*	*
	Thalassiosira pseudonana	1.5	53.33	7.54	-21.01	7.09
	Entomoneis alata	0.3	22.49	3.76	-17.89	7.09
	Cylindrotheca closterium	0.2	8.25	0.8	-17.51	6.97

* No data

2．室内飼育実験による二枚貝の餌料効果

餌料効果を確かめるための飼育実験結果を**Fig. 6**に示す。デトライタスを含む自然水域の底土堆積物を餌にした実験区については採集場所により二枚貝の成長速度が大きく異なった。蒲生干潟，名取川河口では珪藻を餌とした場合よりは低いが，成長が認められた。一方，貞山運河や広浦の底土では殆ど成長しなかった。有機物量としてはほぼ同じでも質的な違いにより成長は著しく異なることが示された。

3．二枚貝の生産に必要な餌料の量

まず，アサリ，イソシジミについて珪藻を餌として飼育実験を行い，1日あたりの摂取量を水温サイズごとに求めて，**Table 2**に示した。20℃の場合，殻長18㎜前後で体重1gのアサリはクロロフィルaで約20μg摂取する。殻長40㎜（体重15g）では134μg摂取することが分かる。イソシジミの場合についても，ほぼ同じような値が得られ，殻長20㎜（体重1g）は1個体あたり1日28μgのクロロフィルaを摂取する。イソシジミについては摂取量と成長量との関係についても求め，**Fig. 7**に示した。体重増加速度と摂取量は直線関係が得られ，1日6㎎の体重増加を支える食物量は約25μg のクロロフィル aである。水温20℃になる6月あたりの必要な餌料の量を試算してみる。このときの体重増加速度は約6㎎/dayである（伊藤ら2001）。飼育実験による成長と摂食量との関係より，クロロフィルとして25μg必要である。摂取量の実験によれば体重1gのイソシジミが1日に摂取する量は28μgであった。ここではイソシジミ1個体が摂取する餌料量を約30μgとして名取川河口のSt. 1Dのイソシジミ現存量（1500g m^{-2}）を用いて試算してみる。クロロフィルaでは30㎎ Chl. *a* m^{-2} day^{-1}，これを現場の培養実験で求めたC/Chl. *a* =50，C/N=8を用いて炭素量に換算すると，有機炭素量では 1500㎎ C m^{-2} day^{-1}，有機窒素量では 180㎎ N m^{-2} day^{-1}が摂食されていることになる。

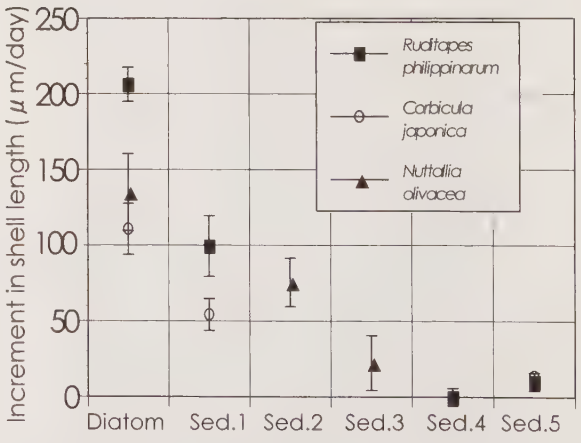


Fig. 6. Average daily increments in shell length of *Ruditapes philippinarum*, *Corbicula japonica* and *Nuttallia olivacea* in the laboratory when fed on various food items at 20℃.
Diatom: *Skeletonema costatum*, Sed: Suspension of natural sediment, Sed. 1: Gamou tidal flat, Sed. 2: Natori River flat, Sed. 3: Hiroura lagoon, Sed. 4: Teizan canal, Sed. 5: Sunaoshi River.

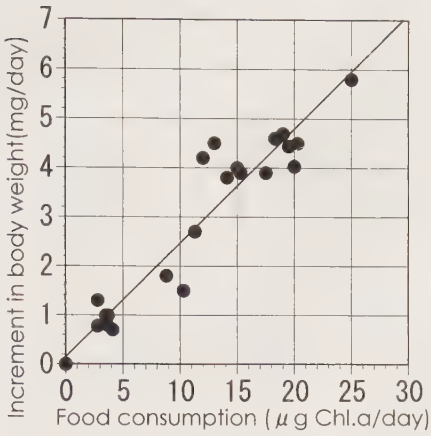


Fig. 7. Relationship between daily increase weight and food consumption of *Nuttallia olivacea* raised in the laboratory on a pure diet of the alga *Skeletonema costatum* at 20℃.

Table 2 Relationship between food consumption and shell size in *Ruditapes philippinarum* and *Nuttallia olivacea* in the laboratory supplied with a pure diet of the alga *Skeletonema costatum*.

Ruditapes philippinarum				
Water temperature	Shell length 10-20mm	Shell length 20-30mm	Shell length 30-40mm	Shell length 40-50mm
10℃	14.2(±12.7)	12.0(±6.2)	60.6(±12.0)	67.7(±36.0)
15℃	26.5(±6.3)	42.9(±10.8)	75.9(±3.9)	152.4(±6.2)
20℃	20.1(±3.3)	61.2(±4.2)	86.2(±3.3)	134.6(±9.1)

Nuttallia olivacea				
Water temperature	Shell length 5-10 mm	Shell length 10-20mm	Shell length 20-30mm	Shell length 30-40mm
15℃	10.2(±8.5)	15.3(±12.9)	32.0(±11.2)	65.6(±13.2)
20℃	15.6(±6.8)	27.8(±7.6)	52.9(±8.6)	80.6.9(±5.7)
25℃	20.9(±8.3)	28.9(±5.3)	60.2(±10.5)	90.3(±10.8)

4．イソシジミの成長と物理的環境の関係

イソシジミの現場における成長実験の結果をFig. 8に示す。実験開始時の殻長が10㎜前後の稚貝の場合，場所による成長の差異が大きい。20−30㎜の成貝の場合には環境による差異は少なく，夏季に体重が大きく増加した。殻長は殆ど伸びなかったが，産卵期に向けて体重が増加したものと考えられる。その後の体重の減少率が場所により異なっている事は環境の差異を反映していると考えられる。底質の粒径，クロロフィルとの間には明確な関係はないが，シルトの含有率が高い場所においては成長速度の著しい低下がみられた（Fig. 9）。そこで，食物にシルトを添加して成長実験を行ない，その影響を調べた。シルト0.1%添加で，成長に影響が認められ，0.5%では成長が約1/4に低下することが分かった（Fig. 10）。一方，シルト含有率に違いが見られない場所間でも成長の違いが認められ，これは餌料の質的な違いによるものと考えられる。

そこで，微環境の特性を水の流動のしかた，特に底質中の間隙水と海水（底上直上水）の栄養塩濃度，ここでは硝酸塩濃度に注目して，時間的変化を場所別に示したのがFig. 11である。川の中心に近いSt. 1Dでは底上直上水の硝酸塩濃度は干潮時に高く（0.25㎎N/L），満潮時に低くなり（0.03㎎N/L），間隙水もほぼ同調していることがわかる。St. 1Cでは下げ潮時（満潮から干潮時にかけて）は底上直上水と間隙水の濃度は同調しているが，上げ潮時に底上直上水の濃度が満潮時に低下しても間隙水では一定濃度を維持していることが分かる。岸側のSt. 1AとSt. 1Bでは底上直上水では干満に伴い大きく変動しているものの間隙水では大きく変動することはなくほぼ一定の濃度を保っている。これは場所ごとの水の流動の仕方，底質の特性の特に粒度の違いによる水の交換速度の違いによるところが大きいと考えられる。

ではここに増殖する微細藻類の組成に注目する。大小さまざまな珪藻類が観察される（Fig. 12）。どの場所に

おいても見られた種類は*Anomoeoneis sphaerophora*であり，その他の種類の分布の仕方は場所ごとに特性がある。川の中心近くで，イソシジミが高密度でしかも成長がよい場所St. 1Dでは，*Amphora ovalis, Anomoeoneis sphaerophora*が多く，また，群体性の*Bacillaria paradoxia*も観察された。そのほかに*Frustria romboides, Cymbella ventoriosa,* Navicula muticaがみられる。ここでは，細胞質のある珪藻の割合が高く，被殻のみの個体は少ない。一方，相対的レベルが高く，干出時間が長い，岸側の砂質域のSt. 1Aでは，*Navicula radiosa, Navicula mutica, Diploneis splendica*など付着性が強いといわれているものが多く，被殻のみの個体の割合が高い。そしてサイズが小さいものが多い。流れが速く，水深が深い場所（St. 1B）では長い群体を形成する*Melosira granulata*が最も多く出現し，被殻のみの珪藻の割合は少なかった。

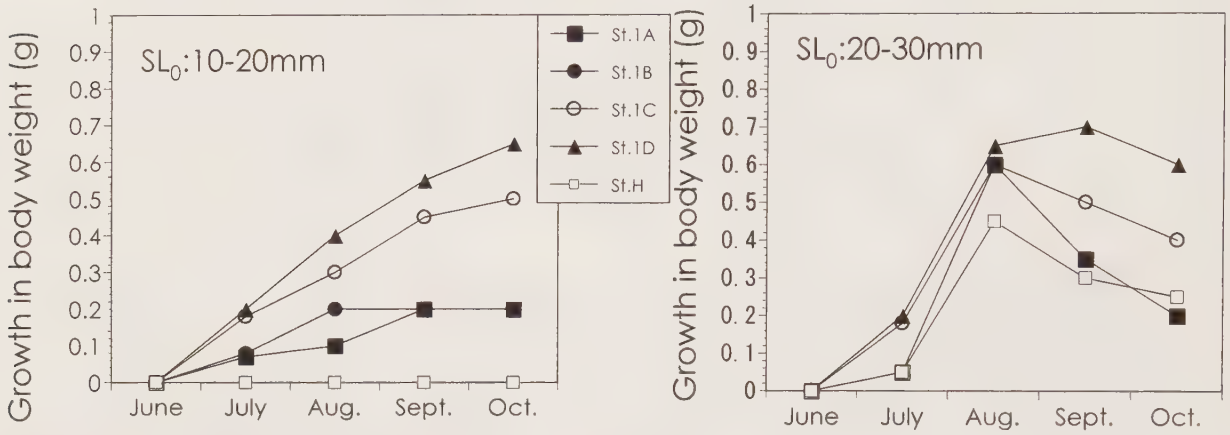


Fig. 8. Growth in body weight of Nuttallia olivacea by the caging method at each location in the Natori River from June to October, 1996. Initial shell lengths were 10-20㎜ (left) and 20-30㎜(right).

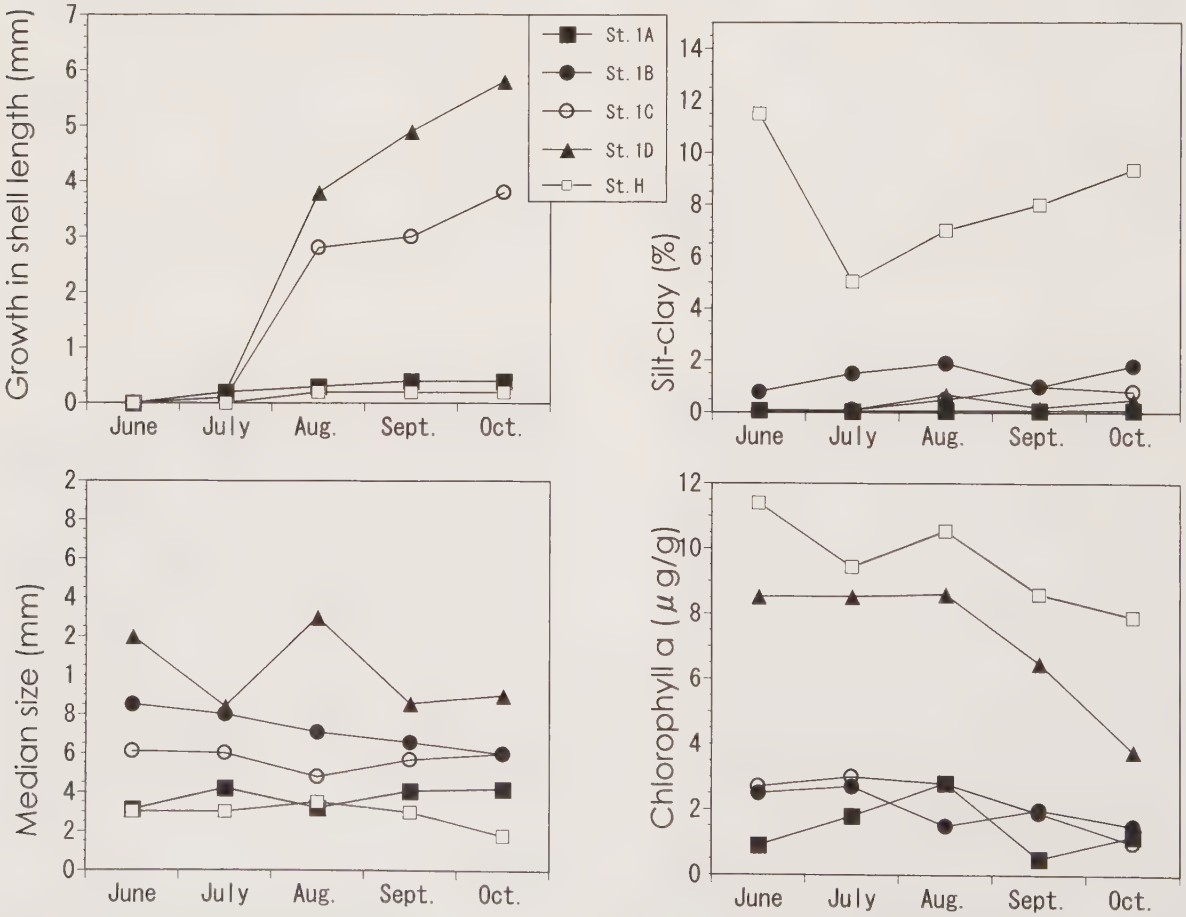


Fig. 9. Growth in shell length of *Nuttallia olivacea* and sedimentary characteristics in the Natori River from June to October, 1996.

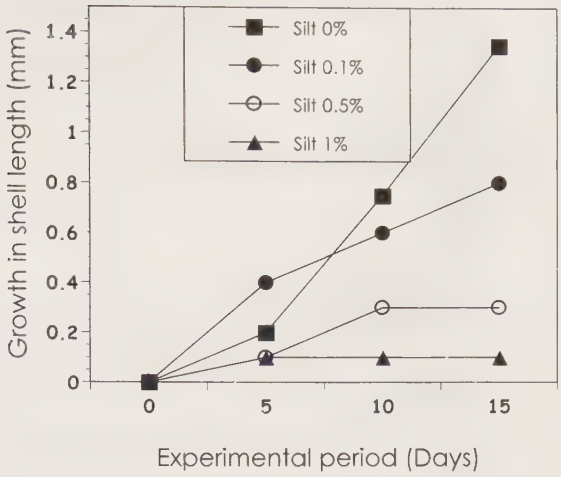


Fig. 10. Growth in shell length of *Nuttallia olivacea* raised in the laboratory on a mixed diet of diatoms and natural silt at 20℃.

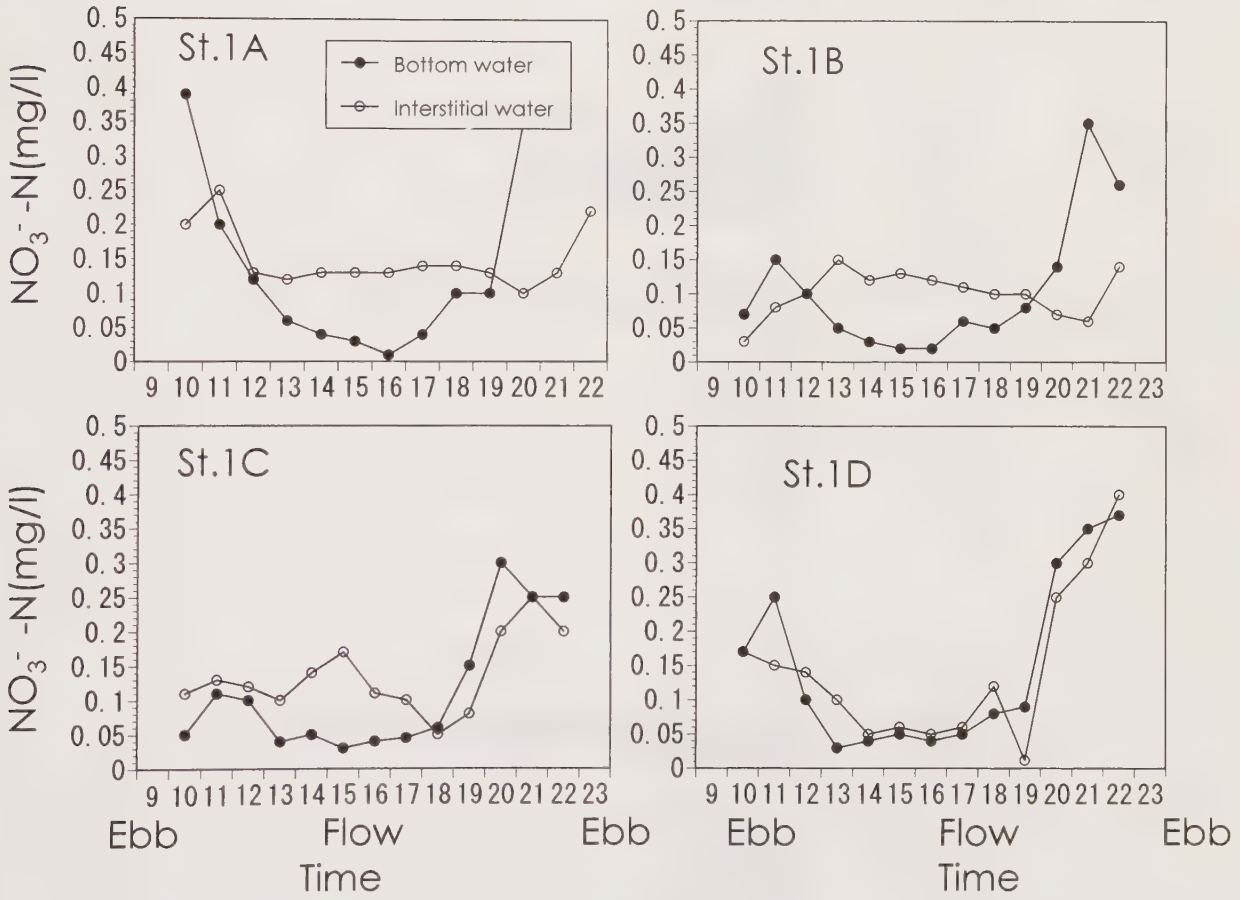


Fig. 11. Changes in nitrate concentration of bottom water and interstitial water collected during a 16-h period from 16 to 17 October, 1996.

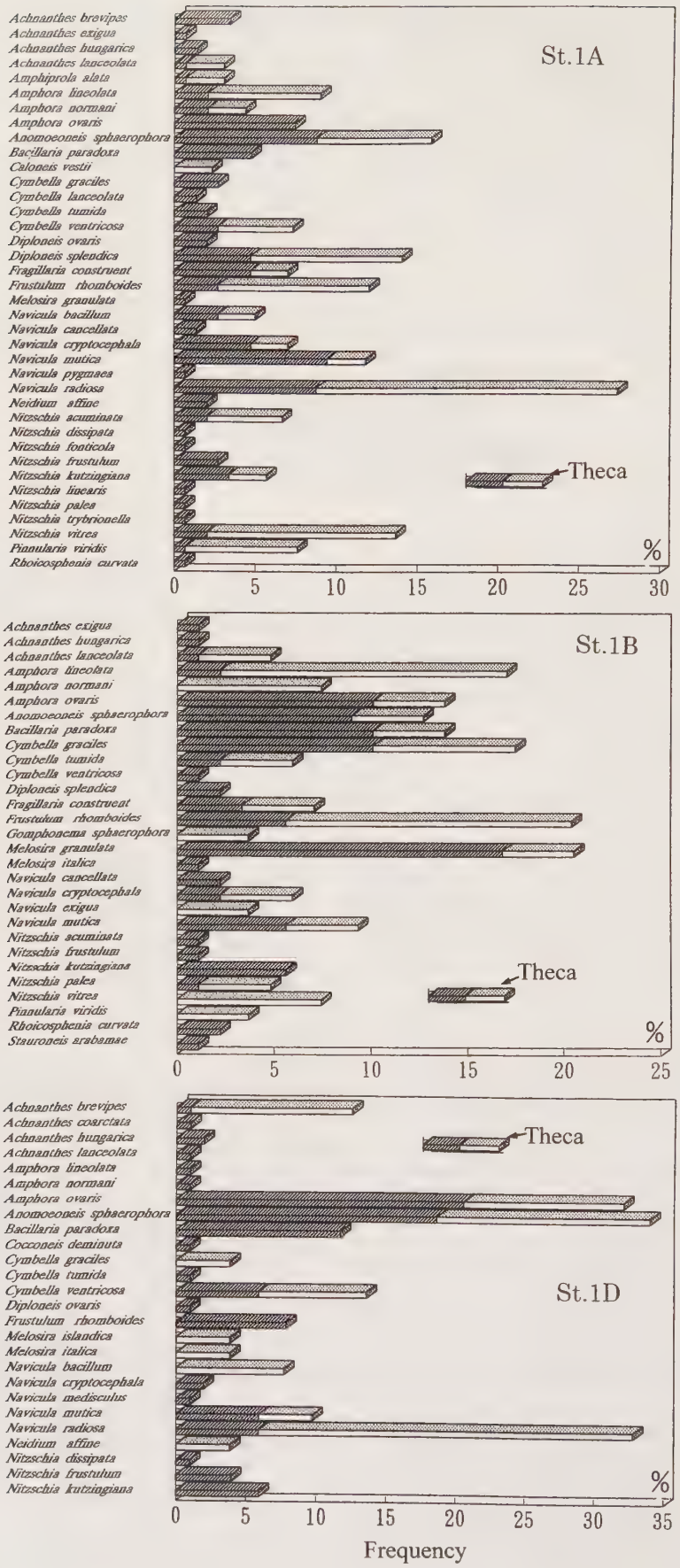


Fig. 12. Frequency distribution of diatom species collected in the Natori River in June, 1995.

5．二枚貝の生産と餌料環境の総合評価法

餌料環境を評価するためには生物と環境との関係を総合的に捉えること，すなわち生物の情報と環境の項目に分けて重要なファクターを抽出して，総合評価表を作成することが第一段階であろう。一例としてTable 3を作成した。餌料環境項目としては，最適な餌料のサイズ，種類，要求量など，生息場所の環境項目では水深，流速，底質の粒度，シルト，Chl. *a*，C/Chl. *a*などであるが，その他の環境要因（水温，塩分，溶存酸素量など）の範囲と限界は把握しておき，それぞれの種類ごと，発育段階別に整理することが重要である。

Table 3 Example of a data sheet for evaluation of food environment for bivalves in tidal flat.

Stage	Available food condition			Characteristics of Location			Sedimentary characteristics		
	Size	Quality	Requiremen	Depth	Current velocity	Water quality (Salinity, DO	Median siz	Silt-Clay	Chlorophyll
Larva									
Juvenile (just settlement)									
Juvenile									
Adult									

考　察

干潟二枚貝類の生産過程と餌料環境とに焦点をあわせ，数年間の研究を整理してみたが，個々の現象を緻密に精確にとらえることと並行して総合的に見ていくことの難しさと重要さについて，再認識した。二枚貝類の餌料は古くから，植物プランクトンとデトライタスであると考えられてきた。実際には二枚貝の胃の内容物中には底生珪藻の方が浮遊珪藻よりも圧倒的に多い。小池ら（1989）はアサリの主要な餌は底生珪藻であることを安定同位体比の解析から考察している。微細藻類の炭素安定同位体比に関して浮遊性と底生性を比較すると，後者がやや重いことが分かっている（France 1995）。珪藻類の現場培養実験結果も同様であった（Table. 2）。したがって，安定同位体比に着目することにより，微細藻類の中でも何が最重要な餌料であるのか推測が可能である。蒲生，及び名取川河口で採取した二枚貝を見ると，同じ場所に生息していても全く異なる安定同位体比を示すものがあった。アサリ，イソシジミがほぼ同じ値で，ヤマトシジミはそれらよりも著しく軽い値，サビシラトリガイは重い値をもっていた。すなわちそれぞれの栄養源も異なっていると推測されるが，この要因として大きく二つの可能性が考えられる。一つは，胃内容物には珪藻とデトライタスが見られるが，消化吸収されるものはこの中の一部であり，体物質へと同化できる物の比率が異なること。もうひとつの可能性は，水管の伸ばし方，摂取方法のわずかな違いによってそれぞれの二枚貝が実際に体内に取り込む粒状物の比率が異なることである。アサリ，イソシジミは境界層付近に懸濁している底生珪藻と浮遊珪藻およびこれらの分解過程にあるデトライタスを取り込んでいると考えられる。

しかし，実際の栄養源への寄与率としては，飼育実験の結果を踏まえると，デトライタスよりも生きている珪藻が高いと予測される。これに対し，サビシラトリガイは堆積物の中でも高次栄養段階の生物の排泄物を栄養源にしているのではないだろうか。ヤマトシジミについては堆積物に付着している硫黄バクテリアなどの影響が考えられるが，今後飼育実験やバクテリアの安定同位体比に関する研究が不可欠であると考えている。

さて，デトライタスは豊富に存在するが，同化効率は生きている珪藻よりも低いと考えられる。これはクロロフィルが分解するに伴い，餌料価値が低下することを意味していると考えられるが，未解明である。ただ，堆積物中のデトライタスは二枚貝の代謝生理において重要な役割を果たしている可能性があり，生理的機能に関する実験が必要であろう。

次に，二枚貝が必要とする餌料の量について考察する。今回は水温20℃でのイソシジミにおける試算をして，30 mgChl. *a* m^{-2} day^{-1}，有機炭素量では1500mgC $m^{-2}day^{-1}$，有機窒素量では180mg N m^{-2} day^{-1}が摂食されているという結果を得たが，青山，鈴木（1997）が一色干潟における現場実験により計算した値（マクロベントスによる有機物除去能力）140mg N m^{-2} day^{-1}と近い値であった。透析膜を利用した現場培養実験によれば，夏季の増殖速度が高い時期で底生珪藻の生産力14mg N m^{-2} day^{-1}が最大であった（伊藤2002）。

この値はその種のその場での環境条件における潜在的な増殖能力を示していると考えられる。様々な微細藻類が増殖していると仮定しても，二枚貝類の必要摂食量は不足すると考えられる。したがって，海水によって運ばれてくる浮遊珪藻，堆積物中のデトライタスも餌料として寄与していると推察されるが，それぞれの栄養源とし

ての寄与率を試算するには，いくつかの現場実験や室内実験が必要である。今回の試算はひとつの例であり，発育段階，季節による温度などファクターを変えて計算することにより，それぞれの漁場における食物必要量が推定可能となるであろう。

最後に，二枚貝の生産過程と生息場所の物理的条件との関係，特に干潟では微環境を考慮してゆくことが重要であることを論議する。干潟における二枚貝の発育段階ごとの分布状況については Sekiguchi *et al.*（1991）や堤ら（1996）により詳細な報告があり，河川による優占種の違い，また，同種であっても年級群によって分布のしかたが大きく異なることがわかっている。Grant（1990）はヨーロッパガキについて現場実験を行ない，堆積物からの栄養供給が成長に大きく影響を及ぼしていると指摘している。Bricelj *et al.*（1984[a]，1984[b]）は底土堆積物の添加がイガイの成長にプラスの効果がある事を指摘しているが，採集場所の底土堆積物の質的な違いを明らかにすることも重要な点である。本研究の自然水域の底土による飼育実験によれば，場所によって成長に大きな違いがみられた。このことは二枚貝の餌料環境を評価するひとつの手段として応用できることを示唆している。また，Grizzle *et al.*（1989）はイガイについて成長実験を行ない，水平的なセストンフラックスが成長と密接に関連していると考察して，水の流速が大きな要因であると指摘している。本シンポジウムの報告においても着底稚貝の発生場所は必ず河川の流入が見られるところであった（黒田 2002）。これは水の流動の問題が大きいかもしれないが，淡水の供給によりもたらされる環境の特性もあるのではないだろうか。すなわち，栄養の供給があり，水の流動があって底質との物質の交換もよく，光も十分到達する場所であって，多種多様な珪藻が増殖できるメカニズムがそのような環境にはあると考えられる，それらが稚貝の食物要求をみたしていると推察される。

自然のしくみを理解し，それぞれの場の特性を活かした二枚貝漁場の保護・設計をするために次のようなことが今後の課題としてあげられる。（1）餌料環境と物理的環境との関係の解明。種類ごと，発育段階ごとに整理し，とくに微環境レベルの特性を把握しておく。このとき，これまでに集積されている現場の知見を最大限に活用する。（2）生物側の特性の解明。発育段階ごとの摂食生態の特性の整理，遺伝的な特性の把握，病気などに関する情報の整理，(3) 総合的な評価を基に種類や発育段階に配慮した漁場の保護・設計の試案を作成する。

謝　辞

本研究は主に日本学術振興会科学研究費補助金（平成5年度～10年度）と河川環境財団の研究助成金（平成11，12年度）の交付を受けて行なわれました。本研究の野外調査に際しましては広瀬名取漁業共同組合ならびに閖上漁業協同組合の皆様にご協力いただきましたことに厚く御礼申し上げます。また，研究を遂行する上で東北大学農学研究科・元教授大方昭弘博士には貴重なご助言をいただきました。深く感謝の意を表します。また，同研究科・助手の片山知史博士，千田良雄技官に心から感謝申し上げますとともに，水圏資源生態学研究室の学生諸君の多大なご協力に御礼申し上げます。最後に講演の機会を与えて下さいました独立行政法人水産総合研究センターの方々に御礼申し上げます。

引用文献

青山裕晃，鈴木輝明，1997：干潟上におけるマクロベントス群集による有機物除去速度の現場測定，水産海洋研究，**61**, 3, 266-274.

Bricelj, V. M. and R. E. Malouf,, 1984[a]: Influence of algal and suspended sediment concentration on the feeding physiology of the hard clam *Mercenaria mercenaria*. *Marine Biology*, **84**：155-165.

Bricelj, V. M., Malouf R. E. and de Quillfeldt C., 1984[b]: Growth of juvenile *Mercenaria mercenaria* and the effect of resuspended bottom sediments. *Marine Biology*, **84**：167-173.

France R. L., 1995: Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications, *Marine Ecology* progress series, **124**：307-312.

Grant, J., Enright C. T. and Griswold A., 1990: Resuspension and growth of *Ostrea edulis* : a field experiment. *Marine Biology*, **104**：51-59.

Grizzle, R. E. and Morin P. J., 1989; Effect of tidal current, seston, and bottom sediments on growth of *Mercenaria mercenaria* : Results of a field experiment. *Marine Biology*, **102**：85-93.

伊藤絹子，大方昭弘，1998：砂浜浅海域生産系と河口域生産系の相互連関，「水産学シリーズ **116** 砂浜海岸における仔稚魚の生物学」（千田哲資，木下泉　編），恒星社厚生閣，東京，pp. 52-64.

Incze L. S., Mayer L. M., Sherr E. B. and Macko S. A., 1982: Carbon inputs to Bivalve Mollusks: A comparison of two estuaries, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **39**：1348-1352.

伊藤絹子，2002：浮遊性および底生性珪藻類の炭素・窒素安定同位体比について，日本陸水学会誌，**63**,

166-168.
伊藤絹子，佐々木浩一，大森迪夫，大方昭弘，2001：現場実験法によるイソシジミ*Nuttallia olivacea*の成長速度，日本ベントス学会誌，**56**, 9-17.
Ito, K and Okata A., 1995: Functional relation ships between benthic animals and their habitat in tidal flat. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, **46**, 1, 47-60.
小池裕子，中島徹，中井信之，1989：安定同位体と消化管珪藻分析による干潟食物網の解析について—現生生態学と古生態学の接点—日本ベントス研究会誌，**37**, 1, 1-10.
Sasaki, K, Kudo M., Tomiyama T., Ito K. and Omori M., 2002: Predation pressure on the siphons of the Bivalve *Nuttallia olivacea* by the juvenile stone flounder *Platichthys bicoloratus* in the Natori River estuary, north-eastern Japan, *Fisheries Science*, **68**, 104-116.
Sekiguchi, H., Saito H. and Nakao H., 1991: Spatial and temporal distributions of planktonic and benthic phases of bivalves in a tidal estuary. *Benthos Research*, **40**：11-21.
堤康夫，関口秀夫，1996：河口干潟における二枚貝類の着底稚貝と稚貝および成貝の分布，水産海洋研究，**60**, 2, 115-121.
和田英太郎，1986：生物関連分野における同位体効果 — 生物界における安定同位体分布の変動 — *Radioisotopes*, **35**, 136-146.

質疑応答

司　会　「どうもありがとうございました。ただ今の発表に，ご質問，ご意見など，非常に，餌料環境に関することを明解にご説明頂いたと思います。特にあの最後の表に表されたような，生活段階毎にそれぞれのどの条件が重要であるかということが，今後のアサリの漁場評価をするのに，非常に重要であると考えます。」

鳥羽氏　「千葉県水産研究センターの鳥羽です。アサリの餌料の量ですが，単純に水中に浮遊している餌料量では，現在のその成長を維持できるだけの量であるのかどうか，疑問に思っております。しかし，餌料量は海水中よりアサリが棲むような底層では濃いのではないかと思います。それには何らかの濃縮メカニズムがその間に存在しなければいけないと考えますが，それについてご説明願えますか？」

伊藤氏　「ええその通りだと思います。海水のクロロフィルを計っても非常に薄いので，それでは二枚貝類の成長を補償できないなあと，いうのが，最初の疑問でした。そこで，底質直上の１センチぐらいのレベルのところのクロロフィルというものが，実際どうなっているかっていうところまで，実は計測できなかったんですけれども，ここの濃度が非常に重要と思います。二枚貝の生産を支えるには，かなりの餌料が必要だという計算になりますが，それは，10センチくらい直上の水を採っても，本当には把握できません。それから，現場培養実験で，珪藻の培養実験をしたんですが，その時の基礎生産力をみても，やはり足りないんですね。そこで，餌料の量の評価というものは，もう少しミクロな，砂と水の境界層あたりの問題で，そこで質的な問題と，量の問題をクリアしていけば，もっと正確なことが言えるというふうに考えています」

鳥羽氏　「特に低層近くの餌料環境と言うことになると，海水の循環による巻き上げというのが，かなり効いてくると思うのですが，この巻き上げというのは，潮下帯に近いようなところだと，潮の高さによってかなり違うと思うので，いつ計るかによって，データがかなり違ってきますね。そういう影響は，今回の実験のなかでは，どのように評価されていますか？」

伊藤氏　「はい，実は，今回お見せしなかったのですが，その潮の干満でかなり組成も変わって来ますし，量も変わっております。その場合の詳しいデータの解析までは，出来なかったのですが，結局，潮流に乗って入ってくるものと，そこで巻き上がるものというものが，地形によって，どのぐらいでバランスするかっていうのは，実はまだ，はっきり押さえてないところで，そこを押さえる必要があると思いますし，場所によって，かなり種類は入れ替わるというのもあります。」

鳥羽氏　「あともう一つ，イソシジミの状態ですが，川の沿岸の方と真ん中の方とで，成長が違うということですけれども，それは，貝のサイズによって成長のパターンそのものが違うというのがあるのですか」

伊藤氏　「一番良い場所は同じなのですが，サイズの大きな貝では，少々，環境がちょっと向いてないかなと思っても，そこそこ体重は増加します。そこで，その生物の耐性といっていいのかどうか，環境に対する対応力がサイズによってかなり違うような気がしました」

鳥羽氏　「その成長差は，そういうことで説明できるのではないかという」

伊藤氏「はい，と思っているのですが，ちょっと，そこはまだ分からないところはあります」

司　会「他にどなたか，ございますでしょうか？」

灘岡氏「東工大の灘岡と申しますが，微環境をしっかり押さえる必要があると，おっしゃったのは大賛成なのですが，先生の発表の中で，現地で，採水ポイントを鉛直方向にこう並べられて，あと底質の中も同様に調査されてますね。そこで，例えば，底質のシルト含有率の鉛直分布はどう出てきたか，それが場所によって，違いがはっきり出てきたかどうかって分かりますか」

伊藤氏「それについては調べませんでした。実は，栄養塩の濃度と有機物量とかは調べたんですが，底質のシルト含量とかは調べませんでした。それから，微細藻類についても，その時のデータがなかったので，調べておけばよかったなあと，今，思ってるところです。」

灘岡氏「さっき境界層って言葉をちらっとおっしゃいましたけど，流体力学的なセンスで境界層っていうと，たぶん，数センチから数十センチぐらいの長さスケールがあって，ちょうど，コアのスケールとうまく合ってるものですから，それで質問したんですが，たぶん，こういった状況ですと地形効果はものすごく大きくてですね，境界層のでき方も場所によって，ものすごく違って，境界層の中の乱れ強度も当然違う。したがって，先ほどご質問にありました巻き上げも当然違うし，あるいは境界層の外側から，底面に向かう，色んな浮遊物，プランクトンも含めた，そういったものの乱流拡散によって定面に向かって運ばれてくる量も違うし，ということで，境界層をしっかり調べると言うことは非常に重要と思います。ですから，まあ，流れそのものは見られないのであって，あとは運ばれる物質を同時観測されるような，観測が計画されると非常に面白いんじゃないかと思うのですが，いかがですか？」

伊藤氏「私もそこら辺が弱いので，結局その，生物側の成長の違いと，先生が今，おっしゃって下さったような，物理的なミクロな違いとか乱れとか，そういったものを合わせるような調査が，是非やりたいなというふうに思っておりますし，そういうことが各水域で行われていくと，見えてくるものがあるかなという考えでおります。ありがとうございます」

広田氏「東京大学，広田です。安定同位体比をお使いになって，生産の仕組みをやってらっしゃいますけれども，季節によってですね，変動があるので，季節毎にかなり生産構造が違っているのではないかと思います。さっきおっしゃいましたカーボンとか窒素の量っていうのが，珪藻類，あるいは他の藻類から供給されるという仕組みの他に，デトライタスによる経由っていうのはかなり大きいと思うのですね。そういう経路のところまで，評価しておけば，更に実態に近くなっていくと思うのですけれども，そういう調査の予定はありますか？」

伊藤氏「実はですね，今日，紹介しなかったのですが，イソシジミについては，ステーションの1とHと，Aという所があるのですが，一年間ずっと安定同位体比を追跡しました。そうしましたらこれらの場所では安定同位体比のシフトが見られ，それがきれいに魚までシフトしているっていう現象が一年間を通じて，出ております。そこで，その違いは何か，近い場所でそういうふうにシフトするのは何かっていうことになると，実は浮遊珪藻も底生珪藻もクロロフィルが分解していってデトライタス化すると安定同位体比がわずかに下がっていくということが，分かってきました。そういった検証をしながら，この安定同位体比を使って行きたいと思います。それから，濃縮率の問題があったもので，種類によって違うのじゃないかと言うこともあると思いまして，餌の違いによって貝の濃縮率，Cの方はどうかっていうのを見ると，どうも1パーミルっていうのは当たっているようで，1パーミルで落ち着くというのが分かって来たので，そういった飼育実験を基に現場のことをもっと克明に調べる必要があると考えてます」

広田氏「私どもも浜名湖のマガキでそういう仕事をしますと，かなり違う，今おっしゃられた，同じような現象が出てくるので，是非，進めて頂きたいと思います」

外丸氏「あのすみません。瀬戸内水研赤潮環境部の特別研究員の外丸といいます。アサリの研究じゃないのですけれども，貝の餌料としては珪藻類かもちろん主体ですけれども，他に渦鞭毛藻類とか，微小動物プランクトン，たとえば微小珪藻と同じくらいの同サイズの鞭毛虫とか繊毛虫，それらも二枚貝にとってかなりいい餌になっているのじゃないかという報告があるのですけれども，今回の研究ではそういう餌生物について観察されていないのでしょうか」

伊藤氏「そのあたりは実は調べておりませんが，現場

のイソシジミ特に大きなイソシジミをみると，ワムシ類とか胃の中に入っているのですね。ですから，動物性のものも餌として利用していることは十分考えられます。それから別の餌料では，ハプト藻類とかを投与すると，珪藻よりは少し落ちますが，餌料効果はあります。渦鞭毛藻類につきましては今回は調べておりませんので，今後調べる必要はあると考えていますが，実際，サイズが小さいので餌料価値があるかなっていう疑問もあります。」

アサリ漁場内の底質環境とその特性

山本　正昭[*1]

Sediment environment and the characteristics on the fishing ground of *Venerupis philippinarum.*

Masaaki YAMAMOTO[*1]

Abstract

The author investigated physical environments like as flow, bottom change, and underground temperature, etc. on the fishing ground of *Venerupis philippinarum*.
As a result, the space and the temperature have understood as severe factors for clam larva as follows.

The fluctuation of the bottom caused by the current was recorded 1cm or less/hr, and that caused by the wave at typhoon was recorded 3cm or less/hr. Because the living layer of the depositing larva repeats the scouring and sedimentation by the tidal current, it will be appropriate to assume a fixed larva to be moved with the sand. The fluctuation velocity of the bottom is slower than the burrowing speed of adult clam. Therefore, whether the clam takes the burrowing action is a turning point of her survival or death caused by exposing or burying.

The soil temperature in exposed tidal flat rises rapidly in the summer sunny daytime, and the surface exceeds 37℃. At this time, though the adult shell-fish will be able to evade the high temperature by deeply diving, it is assumed that the clam larva which live in a shallow layer is caused physiological disorder and dies.

Key word: Japanese littleneck clam, *Venerupus philippinarum*, tidal flat, fluctuation of the bottom, underground temperature,

筆者は以前，流動と地盤変動および底質，地盤高と温度などを中心に，アサリの棲息する干潟の物理環境について調査した。また，干潟の温度を観測するとともに，それを推定するモデルを作成した（山本ら，1995）。その結果を含めてアサリ漁場内の底質環境について報告する。

潮流が速い砂質の干潟では，表面の砂は潮汐に応じて小さく変動し，中期的には干潟全面が，大潮で潮流が速くなると削られ，小潮時には堆積して，動的安定を保ちながら徐々に堆積しているようである。生物にとっては物理環境要因の平均レベルだけでなく，環境要因の変動速度が適応性に大きく影響する。このような観点から，物理環境とアサリとの関係を取り上げ，アサリ漁場となっている熊本県緑川河口干潟と福島県松川浦干潟の地温，地盤高変動，流動などを約1ヶ月づつ2年間に渡り観測を行った。

アサリの生活史は卵から着底までの浮遊期と砂中生活する底生期に分けられる。アサリの孵化後の幼生は上下に運動し全水深に分布するといわれる。2～3週間の浮遊生活の後，0.2㎜前後となった幼生は粗砂等に着底し、底生期にはいる。また，底生期でも稚貝と成貝では環境に対する耐性も異なる。

浮泥については0.5%では障害はないが，2%では活力が落ち16日後20%斃死する（倉茂，1957）。浮遊してい

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*1　水産工学研究所（National Research Institute of Fisheries Engineering, Ebidai 7620-7, Hasaki, Ibaraki, 314-0421, Japan）

る粘土粒子の沈降速度は，非常に遅くてほとんど沈降しない状態である。シルトは約10の−3〜−2乗㎜/sの沈降速度を持っている。それに対し，粘土が沈降するときは，凝集して沈殿し，底面上に高濃度の浮泥層を形成する。層が厚く長期間存在するとアサリがへい死すると言われ，その死亡率は浮泥層厚10㎝以下で10%位，15㎝以上になると70%以上を示す（梶山，藤森，野尻，1983）。

水温については初期稚貝は水温37℃の場合5時間，40℃の場合1時間で全滅，成貝は40℃の場合4時間で半数斃死すると報告されている（倉茂，1957）。干出によってもたらされる急激な温度上昇や低下がへい死の原因となる可能性もある。

餌料については付着珪藻，デトリタス，プランクトンとされているが，その餌料の供給には，潮流だけでなく波浪による珪藻の付着した底質の巻き上げが貢献していると唱える研究者もある（例えば，門谷，2002）。実験では泥のみ，砂のみ，れきのみ，軟岩の穴にも生息し得る（倉茂，1957）。浮泥埋没によって死ぬのは，長期間，摂餌や呼吸ができないためでなかろうか。

アサリの食害生物としては，稚貝期にはイシガニ，クルマエビ，シオマネキ，稚貝後期からはヒトデ，ツメタガイ，ハトエイ，カモ類等が問題とされる（例えば，全振協，1996）が，被害発生要因の解明にはこれらの動物の物理環境との関係を明らかにする必要があろう。

Fig. 1. シオフキに着定したアサリ

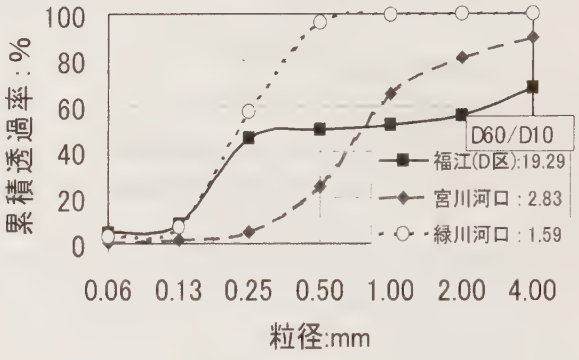


Fig. 2. アサリ漁場の粒径分布（全振協，1996）

稚貝着底時の底質粒径

Fig. 1は手にシオフキという2枚貝を持っており，その貝に黒い玉のように写っているアサリの稚貝が足糸で付着している写真である。アサリ稚貝は着定する場合は0.5㎜以上の粒が必要といわれている（柳橋，1992）が，この稚貝は，適当な砂粒が見つからなかったのであろうか。緑川河口の粒径を**Fig. 2**の図中に○と点線で示している。0.5㎜の粗砂は2−3%しか存在しない。一方，現在も稚貝発生場となっている三河湾の福江地区増殖場は，■で示すように粗砂以上が50%となっている。また，三重県の宮川河口干潟では，◆で示すように，約75%程度の粗砂以上の粒径がある。因みに，緑川河口域においても，過去に粗砂分が多い時期が見られた。

粒径分布の特徴としては，緑川河口の曲線は立っている。これを表現する指数は，均等係数と呼ばれ，粒径の10%と60%の比で表す。福江は19.29と均等係数は大きく，宮川は2.83であり，緑川は1.58と小さく均一な粒径となっている。この均等係数を考慮する必要があろう。

潜砂と地盤高変動

アサリは外敵生物から身を隠したり，体を固定するため潜砂するが，その能力はどの程度か？。アサリの上に泥が堆積し埋もれた場合，水管を伸ばせる適正な深さまで浮上できなければ呼吸・摂餌ができなくなる。室内実験結果では，**Fig. 3**に示すように，埋没深さ10㎝で3〜10%，20㎝で33〜97%の個体がへい死したと（相良，1997）の報告がある。

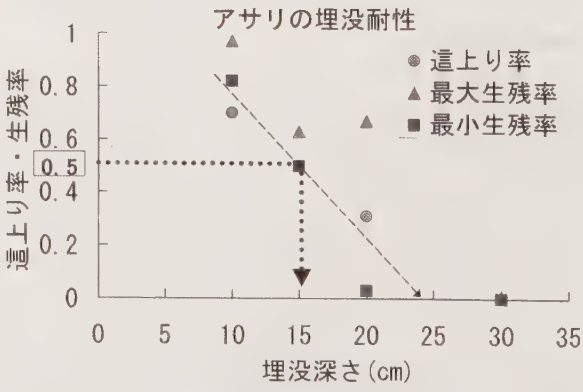


Fig. 3. アサリの埋没深さと生残率

一方，砂面が侵食される場合，それに対応して潜ることができなければ底層から放出され，生息不適地に流される恐れがある。**Fig. 4**は，アサリの潜砂反応時間，潜砂速度，潜砂深度を表す。上段の図は，砂面にアサリを置いたとき，潜砂反応時間（潜砂行動を起こすのにかかる時間）を対数で縦軸に，水温を横軸に示している。例えば，20℃では，1000秒（17分）掛かっている。中段の図は平均の潜砂速度を示し，温度が上がると活発になる。20℃の時2齢で0.07㎜/sec，即ち時速に換算すると252㎜/hrとなる。下段の図は潜砂深度を示し，これは年齢によって変わらず，殻長の約1.2倍となった．これに対し，同時に実験された外海性のウバガイは，潜砂反応時間が0才稚貝では，早く2分程度であり，潜砂速度も20℃で，オーダーが1桁大きい。潜砂深度は殻長の約2倍と深く潜る。

Fig. 5のウバガイを用いた実験では，潜砂地点の海底が侵食されたとき，どのくらいの速度になるとウバガイは放出されるかを示すもので，潜砂速度と侵食速度の比率が明瞭に分かれている。即ち，放出される限界は，侵食速度が潜砂速度とほぼ一致したときと見ることができる。

Fig. 6は，干潟の砂面の高さ変動を砂面計を用いて観測した結果である。**Fig. 7**に示す竿状の砂面計を，海底面に突き刺して立て，竿に切った溝に砂があるかどうかを61個の光センサーを使って定時毎に判別し砂面位置を記録する装置である。写真のように1ヶ月後には上部はフジツボ，貝等が付着しており，1ヶ月以上の使用には清掃が必要である。また，この砂面計に流れ藻が絡んだ場合，判別できなくなることがある

この砂面計を干潟上の砕石部，粗砂覆砂区，対照区（原地盤）の3カ所に設置した。最上段の図はそのときの潮位予想曲線を表す。2段目の図が地盤高の生データである。全体的に地盤高は，大潮時に低く，小潮時に高くなっている。3段目の図は時間単位の地盤高変動速度を示す。潮汐の周期に合った半日周期で変動する場合が多く，その地盤変化速度は，ほとんどが1目盛（1㎝/hr）以下の変動であるが，一時的に3～5㎝を示すときがある（竿の周りの局部洗掘の可能性有り）。なお，センサは1㎝毎に埋め込まれており，分解能もそのステップに依存し，約±1㎝の精度である。下段の図は，潮汐の影響を均すため日平均の高さの変動を表している。この図から，1日の変化量は4㎝以下であることを示している。

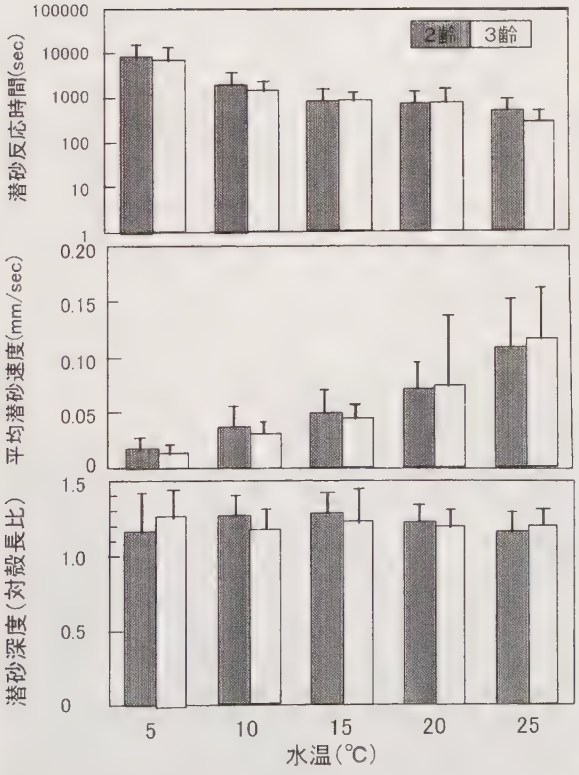


Fig. 4. アサリ2齢および3齢個体の潜砂行動の比較
（櫻井ら，1995）

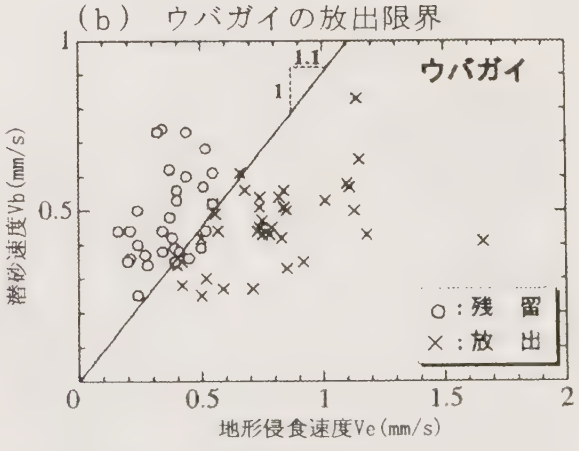


Fig. 5. 海底侵食に対するウバガイの放出限界
（山下ら，1998），1995）

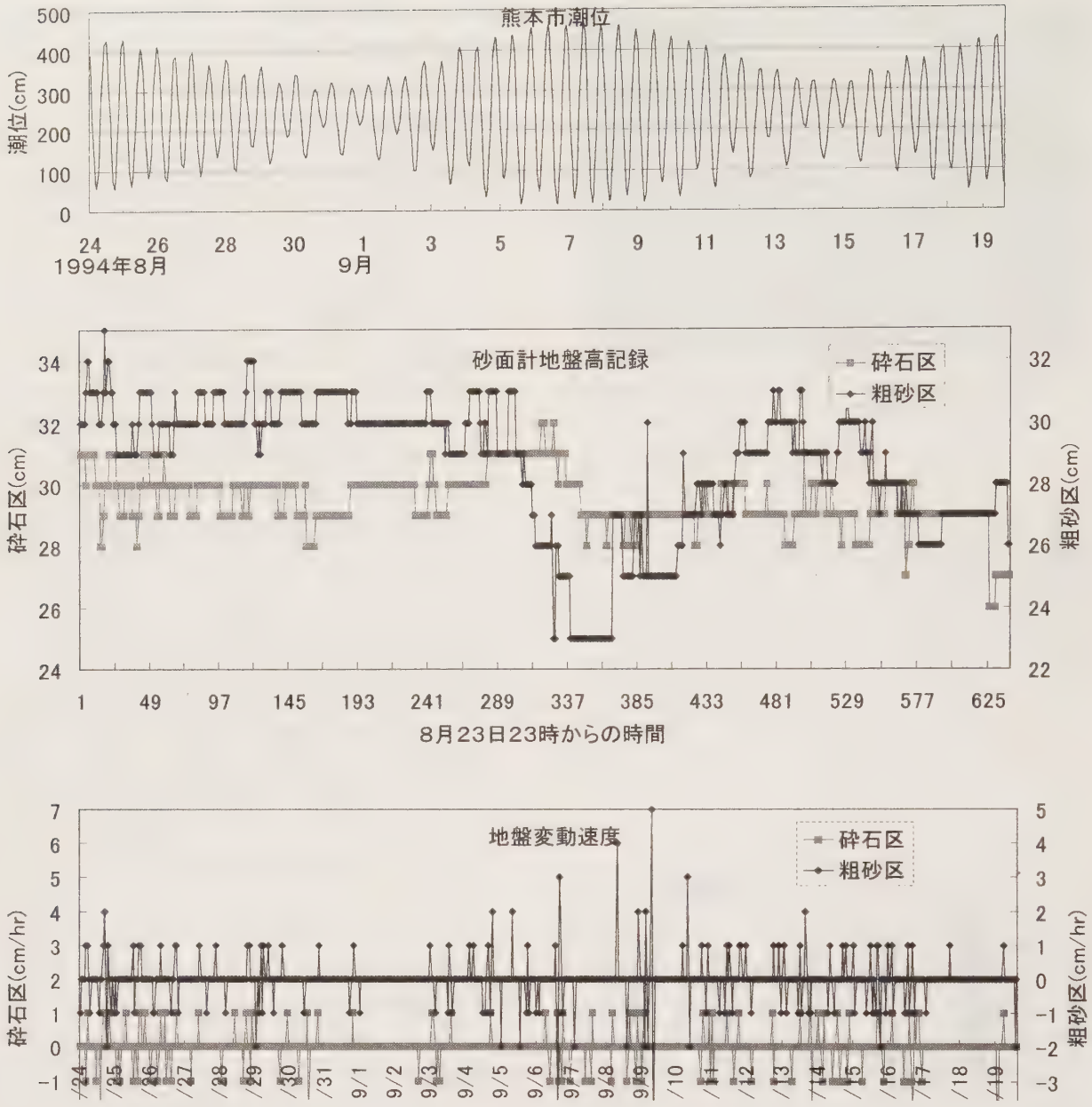


Fig. 6. 1994年の緑川川口地区干潟の地盤変動

同時に観測した流速との関連を調べてみると，通常時，流速は波動より潮流が卓越していた。**Fig.8**では流速Vrms（$=(V^2+(\Sigma Vt^2)/n)^{0.5}$ V：平均流速，Vt：偏差）が30cm/sec前後までは砂面の変動速度は約2cm/hr以下となるが，40cm/secから大きくなり最大5cm/hrとなった。前年の1993年8月10日に，直近を大きい台風が通過した時の記録を取ることができた。その前後の波動流速振幅と地盤変動速度の関係を**Fig. 9**に示す。横軸の20cm/sec以上が台風時の値であり，この干潟では，波動流速が30cm/secを超えた辺りから地盤の変動も大きくなっているが，流速振幅約40cm/secでも，地盤変動速度は3cm/hrを超えることはなかった。

Fig. 7. 設置作業（左上）と1ヶ月観測後の砂面計

Fig. 8. 潮流と波動の合成流速と地盤変動速度

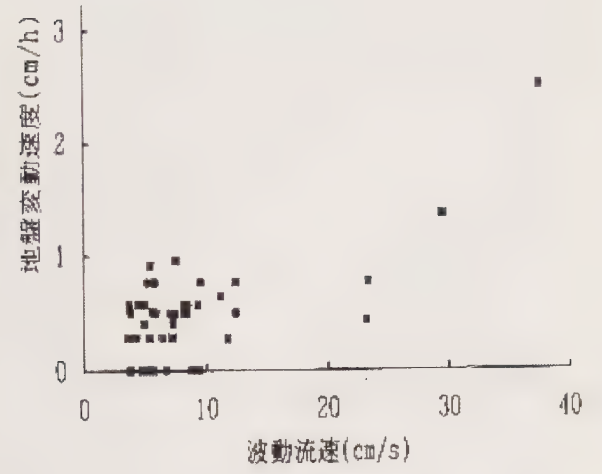


Fig. 9. 干潟における波浪と地盤変動速度

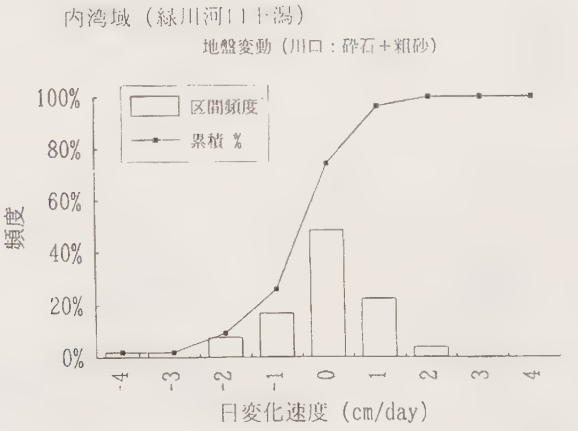


Fig.10. 干潟域の地盤変動速度の頻度分布

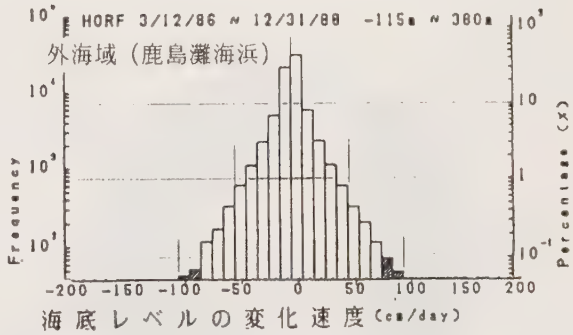


Fig. 11. 外海域の地盤変動速度の頻度分布（加藤ら，1989）

Fig. 10に日変動量の頻度分布を示す。2cmを超える変動量になるのは15%位であるが，これを外海と比べると，Fig. 11に示された外海でのこの確率は，20cm程度である。すなわち，外海では変動速度は内海の10倍程度となっており，そこに生息する二枚貝の潜砂速度も1桁違うと言えるのではないか。

底質の動き易さの指標となるシールズ数とアサリの生息との関係は，激浪時のシールズ数が，0.20より大きくなると砂面は侵食を受けアサリは定位できない（柿野2000）と言われている。一方，小さすぎるとシルトまで安定しすぎ泥場化，有機物の多い底質では還元状態になりやすい。

底質の固さも稚貝の発生量に関係する。北海道開発局の調査結果では，コーン支持力が小さいところでは稚貝の発生が多いと報告されている（阿久津ら，1995）が，私見としては，砂が稚貝と一緒に移動して静穏部に溜まった結果，地面も柔らかく稚貝も集まったのではないかと考える。

海底面上を移動するものはどのくらいあるか。シルクハットを逆さ向けた形の掃流砂トラップ（Fig. 12）を塩ビパイプと塩ビ版で作り，干潟面に鍔部分を擦りつけ設置した。1994年8月24日と9月20日にFig. 13のように実験

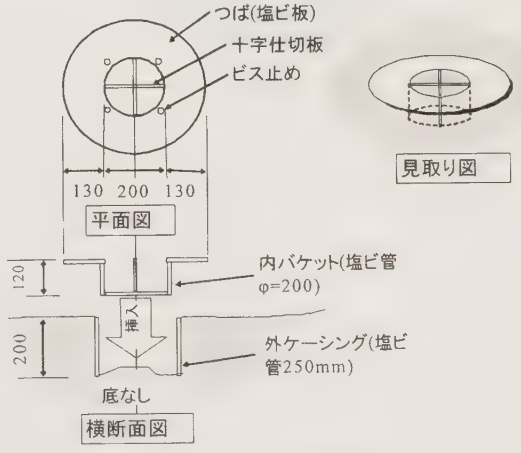


Fig. 12. 掃流砂トラップの形状と設置法

区の周り15m区間に10個並べ翌日調べたところ，このトラップに落ちた生物は，シオフキ（8/24の殻長のモードは10～14㎜，9/20は15～19㎜），マテガイ（8/24は25～29㎜，9/20は35～39㎜）が多く，アサリ（8/24は10～14㎜，9/20は20～24㎜）も10%ほどあった。そのほか，食害生物であるキセワタ，キサゴ，ツメタガイ等が捕えられた（Fig. 14）。これらの生物は，主動的に動いているか，砂と一緒に動かされているか判別することは困難であるが，トラップされた砂が少ないことから多くの種類は自発的に動いてトラップに落ちたのではないかと類推される。

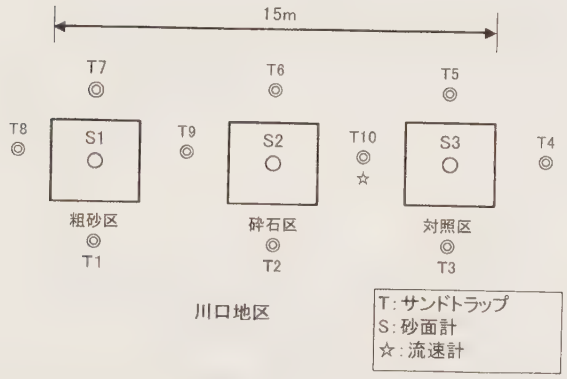


Fig. 13. トラップの配置

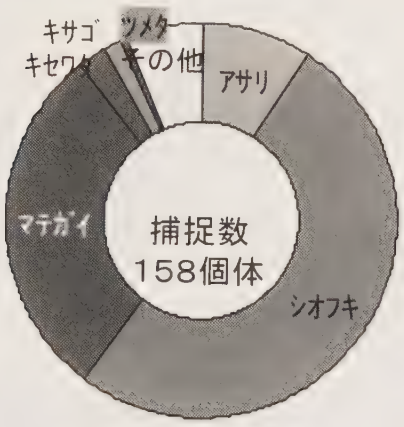


Fig. 14. トラップに捕捉された生物数

アサリの温度耐性と土中温度

地盤高が高いと，干出時間が長いため，地温の上昇が大きくアサリの生理に障害となる恐れがある。池末・松本（1956）によると，37℃では，稚貝は2.5～5時間で死亡する。成貝は37.5℃で4～16時間，40℃で2～8時間で死亡すると報告している。

地温は土中水分のほか，気温，日射量，風速，湿度等が影響する。また，地下水の湧出は地温を平準化する。

地温の計測方法は，Fig. 15に示すように，干潟土に穴を掘りセンサーを各深さに埋め，記録部を海上に設置した。緑川河口干潟における1992年8月27日～9月29日までの結果をFig. 16に示す。上段の図は全期間の地表と深さ5cmの地温である。下段の図は，8月27日から29日の気温，地表温度，地表から2.5，5，10cmの記録を拡大した。8月27～28日と9月27日に尖ったピークが現れているところは大潮の干出時である。また，大潮時には外海と水替わりするため水温・地温が下がり，小潮時には内湾の水が温められる状況を表している。なお，深さ5cmの温度計は，9月20日より不調となっている。

詳細に検討するため，シミュレーションモデルを作成した。Fig. 17は8月27日の計算結果であり，各線は1，5，10，20cmの経時変化を表す。92年の8月27日の実測値とシミュレーションはほぼ合うと考えられる。Fig. 18は温度の深さ方向の変化を表す。表面下1cmでは36℃に達している。干出時間が長いところは40℃を超えることになり稚貝のみならず，成貝の生息環境としても問題となる。しかし，深さ5cmになると和らげられる。

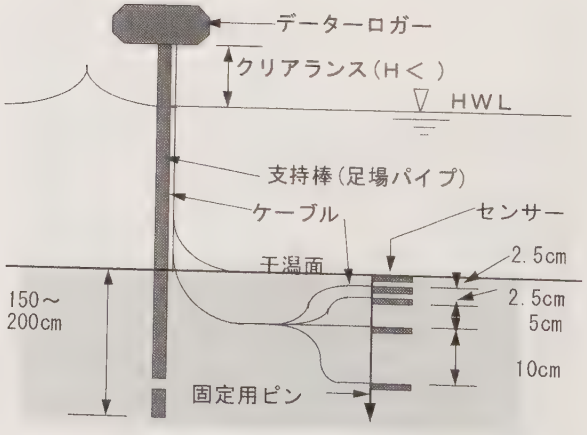


Fig. 15. 地温測定方法

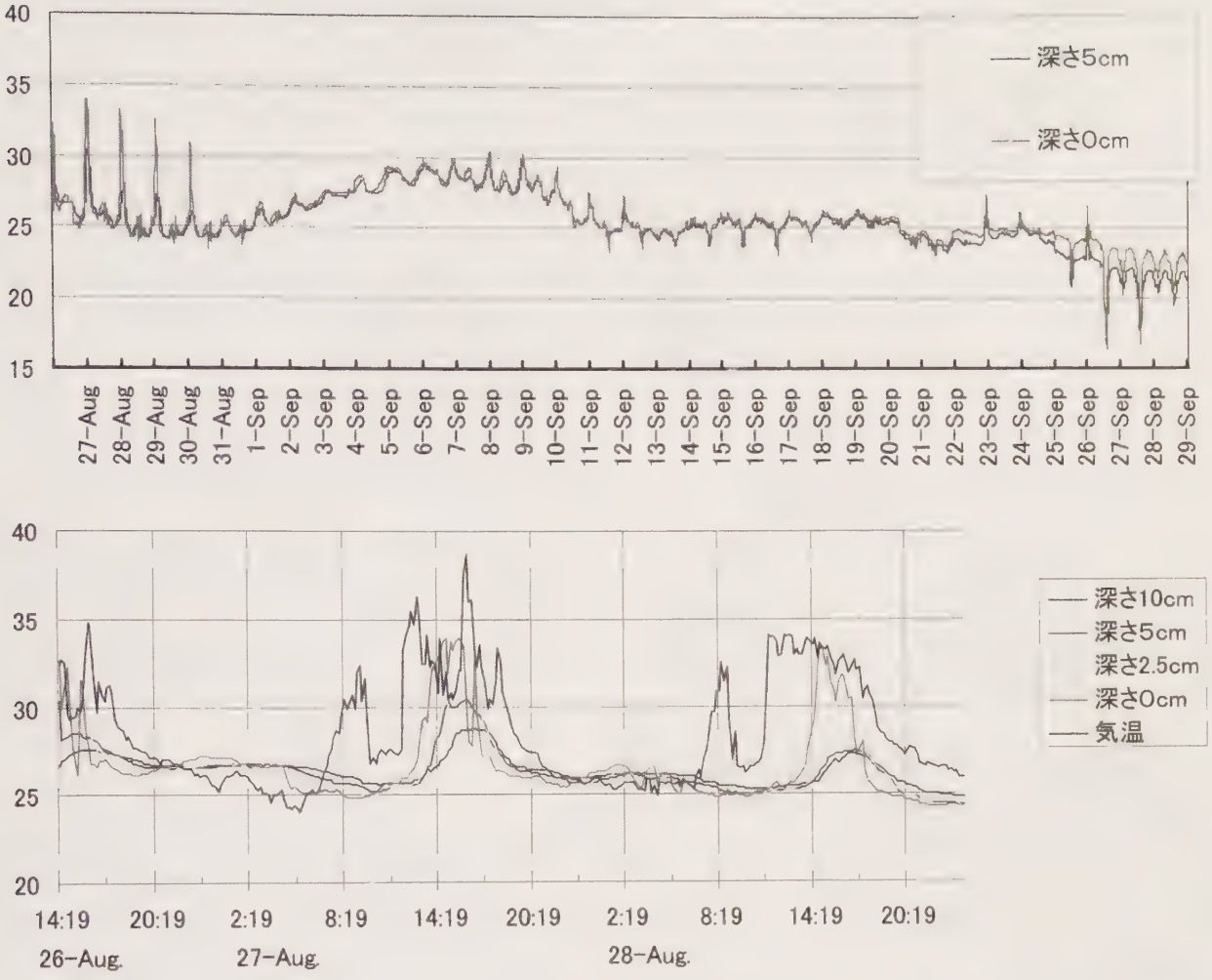


Fig. 16. 干潟の地中温度の経時変化

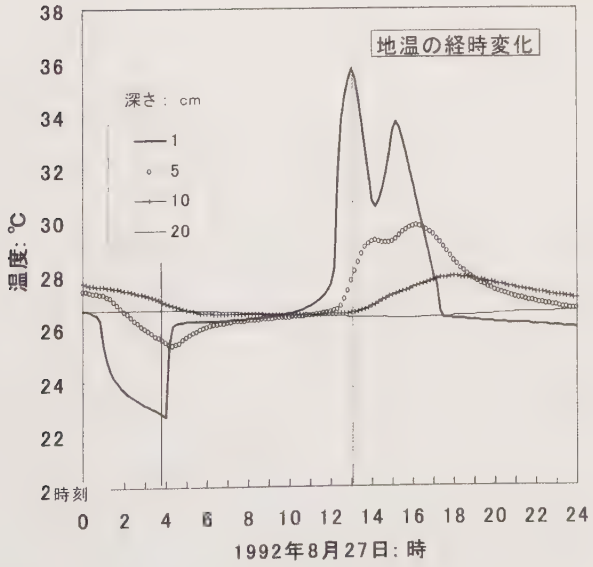


Fig. 17. シミュレーションによる地温の経時変化

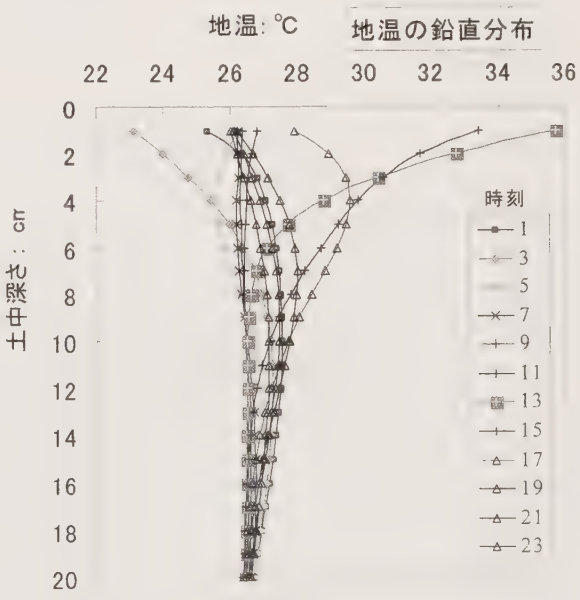


Fig. 18. シミュレーションによる地温の鉛直分布

まとめ

筆者は，干潟に棲息するアサリの物理環境，即ち，流動と底面変動，土中温度などを調査した結果，アサリ生息場の環境は，以下のように，貝の幼生にとって，厳しい環境であることが分かった。

①緑川河口のアサリ漁場の底面の変動は，潮流で1cm/hr以下，台風の波浪で3cm/hrであった。

②稚貝の生息層は，潮流により侵食と堆積を繰り返すので，着底稚貝は，砂粒とともに動いていると判断するのが妥当であろう。

③底面の変動速度は，アサリ成貝の潜砂速度より遅いので，アサリが潜砂・浮上行動を取るかどうかが，露出や埋没によるアサリの生死の鍵であろう。

④夏季の晴れた日中の干出時には，急激に地温が上昇し表面は37℃を越える。

⑤この時，成貝は，深く潜ることによって高温層を回避することができるのであろうが，浅い層に棲む稚貝は，生理障害を起こし死亡することも想定される。

この課題に関連して，稚貝期の潜砂・浮上能力，稚貝の発生と底質の関係，干潟の高温によりどの程度活性が低下するかを今後，調べる必要がある。

参考文献

Jun Kakino 2000 : Dispersal of Japanese Littleneck Clam Ruditapes philippingrun (ADAMS and REEVE) in Relation to Changes of Bottom Level due to Water Aetion on Banzu Tidal Flats, Tokyo Bay. 水産工学 **37** (2) 115-128.

阿久津孝夫，山田俊郎，佐藤仁，明田定満，谷野健二，1995：アサリの生息と底質の硬度，粒度との関係について，開発土木研究所月報，**503**，22-30.

池末弥，松本直，1956：アサリの生態学的研究-1 沈着期アサリの低比重並びに高温に対する抵抗力，有明海研究報告**3**，16-23.

加藤一正，村上裕幸，柳嶋慎一，栗山喜昭，磯上知良，1989：波崎海洋研究施設（鹿島灘）で観測された海底レベルの変化，第8回水産工学推進会議報告書，1989.6，9-12

梶山実，藤森常生，野尻節郎，1983：畠口地先アサリへい死調査（その1），昭和57年度熊本県のり研究所事業報告書，197-200.

倉茂英次郎，1957：アサリの生態研究，特に環境について，水産学集成，東京大学出版会，611-655

門谷茂，2002：砂浜干潟域における環境と物質循環系，日本水産工学会14年度春季シンポジウム講演要旨，234-237.

相良順一郎，1977：貝類養殖における干潟の利用について，水産土木，**13**（**2**），17-20.

櫻井泉，瀬戸雅文，高谷義幸，1995：北海道砂泥海域資源開発調査（環境保全型沿岸域利用調査），平成6年度北海道立中央水産試験場事業報告，188-199.

山本正昭，萩野静也，石田宏，1995：アサリ漁場造成計画のための物理環境調査，水産工学研究所報告，**16**，水産工学研究所，1-28.

山下俊彦，和田彰，鳴海日出人，渥美洋一，櫻井泉，1998：振動流場でのウバガイ稚貝の潜砂に関する実験的研究，第22回海洋開発シンポジウム，土木学会，327-332.

全国沿岸漁業振興開発協会，1996：増養殖場造成計画指針・ヒラメ・アサリ編，（社）全国沿岸漁業振興開発協会，123-304

柳橋茂昭，1992：アサリ幼生の着底場選択性と三河湾における分布量，水産工学，29（1），55-59

質疑応答

山崎氏 「水産総合研究センターの山崎と申します。稚貝にとって干潟はその厳しい環境だというのは，理解できたのですが，その干潟の環境の状況というのは，20年，30年変わってないと思うのです。そういう点で干潟は，厳しいという意味で，稚貝にとっては変わらない場所だと思うんですが，アサリの漁獲量が急変しているということと，干潟の厳しい環境との関わりが，どういうふうにつながっていくのかとお考えがあれば，ご紹介ください。」

山本氏 「はい，あのここのですね，干潟の歴史について少し調べましたらところ，形跡として残っておるのは，粒度が変化しているというのが一点，そして，もう一点はですね，砂層ですね，1メートルぐらいサンプリングしております。その時には，下の方で粒度の大きいものが出たりしました。そこで，そのような粒度の変化と，アサリの生産量を結びつけようと試みたんですが，柱状のものからだと，いつの年代なのかというのが，なかなか分からないという問題があります。それから，データとして残っておりました粒度と，アサリの生産量との関係ですけれども，その相関性というのは，ちょっと見つけることができませんでした。しかし，これはもっと解析が必要ではないかなと思いますし，もっと昔

からのデータを集める必要があるのかなというふうに考えています。」

司　会　「セッション1の全体のまとめとも関係すると思うんですけれど，干潟の中での砂の変化というか，稚貝にとって厳しい状況に出会うと稚貝のエネルギー状態が低下し，先ほど言われた潜砂速度とか，そういうものとの関係で，うまく対応できなくなるような条件が揃うと，そこで生き残れなくなるというようなことが起ってるんじゃないかということは，予想はされるかなという気はします。それについては，これから実証できるデータをとって詰めていかなければいけない問題であろうかというふうに思います。」

貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響

日向野純也*

Influence of environmental factors as oxygen deficiency, hydrogen sulfide and suspended mud on the survival and growth of Manila clam

Junya HIGANO*1

Abstract

The production of Manila clam has been decreasing since early 1980s in Japan. It is presumably related to the environmental deterioration mainly caused by reclamation, barrage construction and waste discharge from watershed. Oxygen deficiency, hydrogen sulfide and suspended mud are considerably significant factors for survival and growth of Manila clam, because they affect the respiration and filtration of the clam. Manila clam shows the tolerance for anoxic condition by switching respiration to anaerobiosis that is commonly recognized in bivalve species. Manila clam also tolerates hydrogen sulfide that affects aerobic respiration. Higher concentration of suspended particle reduces the filtration of bivalves, but it isn't fatal. The cause of mass mortality of Manila clam couldn't be explained well by single factor within a short period. However, compound and long-term effects presumably influence the physiological condition of the clams and eventually cause the fatal damage. It is necessary to monitor both the environmental factors and physiological condition of the clams in order to predict the survival of the clam and to make a plan for rehabilitation of the clam habitat.

Key word: Manila clam, oxygen deficiency, hydrogen sulfide, suspended mud

アサリ*Ruditapes philippinarum*（Adams and Leeve, 1850）の減耗要因は種々挙げられているが，アサリの生息する海域への有機物負荷の増大や土木工事などによる物理的な環境改変の影響によって増加するであろう貧酸素，硫化水素，浮泥などもアサリの生残や成長に大きな影響を与えていると考えられる　貧酸素や底質の還元化に伴い発生する硫化水素は呼吸を阻害する要因として，また浮泥は呼吸阻害と共に濾過や摂餌を妨害する要因として取り上げられることが多い。浮泥の存在はアサリの生存や成長を阻害すると同時に餌料源としても捉えられるように，肯否両面での影響が考えられる　ここでは，これらの要因について既存の知見等を整理しながら，沿岸の環境変化と資源減少の関係について考えてみたい。

アサリ漁獲量・移殖種苗数の動向

漁業養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部，1954-2001）に基づく我が国におけるアサリの漁獲量を**Fig. 1(A)**に示す。1953年には8万トン程度であったが徐々に増加し1960年代に入ると10万トンを越え，約25年間に渡り11～16万トンの生産量を推移した。1983年をピークに急激に減少を始め，1987年に10万トンを割り込んだ後も減少傾向は続き，1996年以降は4万トンを下回る年が多くなっている。千葉県(**Fig. 1(B)**)では1960年代～1970年代初頭にピークがあり一時は8万トン越えるなど日本全体の半分以上を占めていたが，東京湾での埋め立てが進むに従い急激に減少し，1～2万トンで推移してきたが現在さらに減少して1万トンを割り込んでいる。有明4県

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*1　養殖研究所（National Research Institute of Aquaculture, Nakatsuhamaura 422-1, Nansei, Watarai, Mie, 516-0193, Japan）

(Fig. 1(C)) におけるアサリの漁獲量は1953～1970年までは平均約2万トンであった。この時期は東京湾での生産量が多かったため，有明海での漁獲は抑えられ，資源が温存されていたと推察されるが，1970年代中頃から千葉県での漁獲量が減少するに従い有明海における漁獲量が増加した。1976～1983年にかけては全国のアサリ漁獲量の約半分を占めるに至ったが，その後減少に転じ，1989年以降は3000～12000トンに低迷している。特に主産地である熊本県は1977年をピークに漁獲量が著しく減少し，その減少傾向は全国及び千葉県を遥かに凌いでい

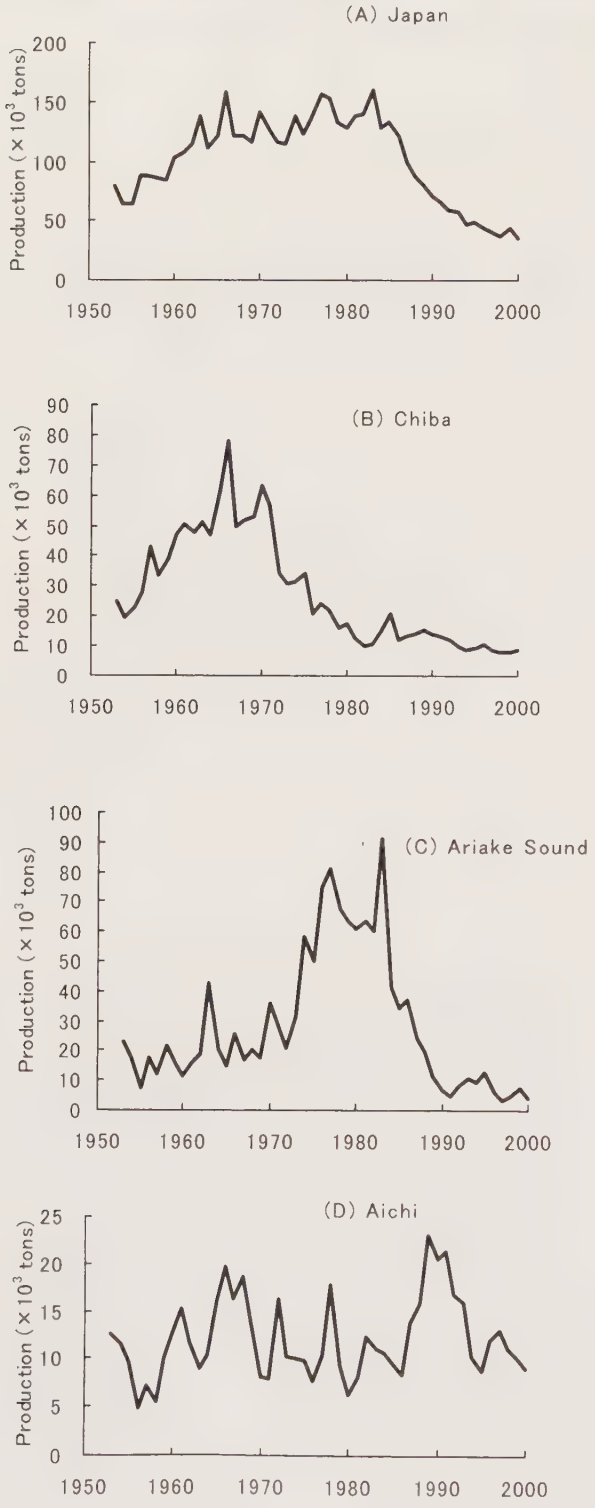


Fig. 1. Annual productions of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Japan (A), Chiba Pref. (B), total of four Prefs. In Ariake Sound (C) and Aichi Pref. (D).

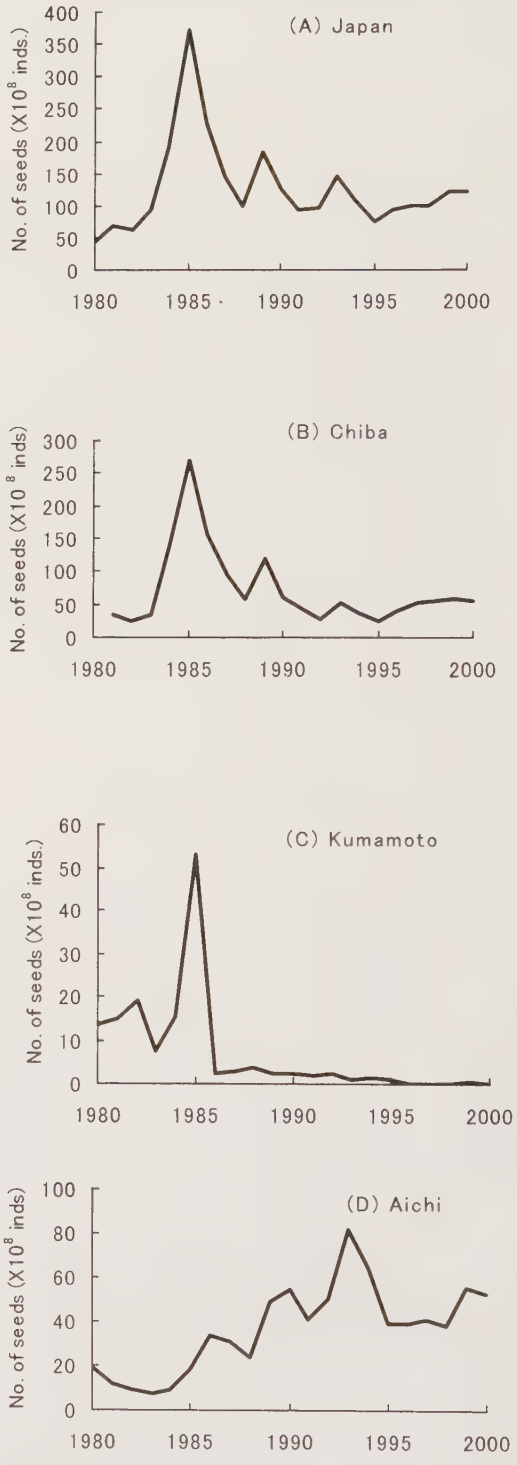


Fig. 2. Number of transferred Manila clam seed. Japan (A), Chiba Pref. (B), Kumamoto Pref. (C) and Aichi Pref.. (D)

る。これに対し，愛知県における生産量は1～2万トンの間を比較的短い周期で変動し，長期的に見れば安定した生産を上げている（Fig. 1(D)）。

アサリは古くから移殖が盛んに行われてきた（大島，1994）。同じ漁場の中で稚貝の濃密な生息域から成長の速い場へと移殖する短距離の移動形態からトラックや船で遠隔地へ輸送する長距離の移殖が日常的に行われている。Fig. 2(A)～(D)に各県に移殖されたアサリ種苗数の経年変化（水産庁・日栽協，1980–2002）を示す。Fig. 2に表されているのは受け入れ種苗数であって生産量を反映している訳ではない。受け入れ種苗の絶対数は千葉県が圧倒的に多いため，日本全体の受け入れ種苗数の変遷もその動向に左右される傾向が見られる。ここでは1980年以前の状況がわからないが，Fig. 2(A)からは1985年前後が突出して高くそれ以降も1980年頃に比べて高い様子が見られる。すなわち，1985年以降は漁獲量が減少しているにもかかわらず以前よりも種苗の移動量が増加している事が推察される。しかし，1990年代以降は愛知県以外では大きく落ち込んでいる。アサリ種苗の主要な供給県は熊本県と愛知県であったといわれているが，熊本県では大きく減少し愛知県のみ種苗供給地としての地位を維持している。すなわち，全国的に地場での種苗の生産量が少ないために，生産は主に他地域から移殖された種苗に依存しているが，十分な種苗が供給されない現状が近年の漁獲量減少に反映されていると思われる。また同時に移殖後の生残が悪いことも関連があると思われ，アサリの生育場の環境が以前よりも不適になっていると推察される。

貧酸素の影響

貧酸素がアサリの生残に及ぼす影響については古くから着目され，多くの知見が得られてきた。アサリの貧酸素耐性については柿野（1982），萩田（1985），中村（1997）により実験的に調べられ，水温が25℃以下ではほぼ無酸素でも供試個体が死滅するまで4～5日間を要することが示されている（Table 1）。二枚貝は溶存酸素濃度が低い時には無気呼吸を維持し，代謝を低くして比較的長期間生存する事が知られている。二枚貝の嫌気的代謝ではグリコーゲンとアミノ酸（アスパラギン酸等）を貯蔵物質として利用し，コハク酸，プロピオン酸など様々な代謝産物を得ながら生命維持に必要なエネルギーを得ている（Hochachka，1984）。にもかかわらず，貧酸素に連動して多くのへい死事例が報告されている（柿野，1982；柿野，1986；愛知水試，1995など）。それは長時間にわたり貧酸素或いは無酸素状態が継続することによって，貯蔵物質が底を付き死に至るためなのであろうか。青山ら（1999）は貧酸素によるアサリ死亡率の定式化（鈴木ら，1998）を改良し，グリコーゲン含量を考慮した貧酸素下でのアサリ死亡モデルを作成し，中村ら（1997）による無酸素条件下でのアサリの生残実験結果と良い一致を示した。また，中村（1997）によるヤマトシジミの無酸素耐性実験では軟体部中のグリコーゲン含量が35㎎/gであったのが20℃で25日間経過後16㎎/gに低下し，30℃では39㎎/gから11日間経過後に11㎎/gまで低下している。これらの結果は嫌気代謝時のエネルギー供給にグリコーゲンが消費されていることを示唆している。ただ，現時点では貯蔵物質が使い果たされて死亡に至るのか，貯蔵物質は残っていても代謝産物（例えばプロピオン酸）の蓄積によって生理状態が変化することにより死に至らしめられるのか定かではない。また，グリコーゲン含量の季節変化は大きいが（白石ら，1995），これは環境条件よりも成熟サイクルに依存する部分が大きく，絶対値が基準値としての意味を為し難いという欠点もある。しかしながら，上記の留意点を考慮して取り扱うのであれば二枚貝の生残を予測する上でグリコーゲン含量

Table 1. Tolerance of Manila clam to hypoxic condition. Lethal times were read from published data.

W.T.(℃)	DO(mg/L)	LT50 (hr)	LT100 (hr)	
24	0.58→ND	132	-	Kakino (1982)
	0.76→ND	105	120	〃
	0.80→ND	129	144	〃
24.2 - 25.3	0.49	68	-	〃
	0.22→ND	84	-	〃
	0.36→ND	102	120	〃
20	0.36	-	-	* Hagita (1985)
25	<0.05	35	96	Nakamura et al. (1997)

* No Manila clams died until 120 hr.

は有用な指標であると思われる。

また，貧酸素に連動して底質の還元化が進むと硝酸還元が起こり，さらに還元化が進むと硫酸還元となり硫化水素が生成される。このような状態ではアンモニアの溶出も活発に起こると予想される。さらに二枚貝はアンモニアを尿として排泄するため（西脇，1999）生息密度が高い場合などに生息場周辺におけるアンモニア濃度が高くなる恐れがある。二枚貝に対するアンモニアの毒性は96時間半数致死濃度でNH_3として数mg/Lが報告されている（Stevens，1982; Abraham *et al.*，1996）。通常海域の水柱ではこのように高いアンモニア濃度になることはないであろうが，間隙水中や底直上では高濃度になる可能性は否定できないので，底質の還元化が進行する状況を想定してアサリに対するアンモニアの影響を把握しておく必要がある。

硫化水素の影響

還元環境下では*Desulfovibrio* 等の硫酸還元細菌の繁殖により硫化水素が生成される（Boyd and Tucker，1998）。特に有機汚濁の進んだ底泥中で非常に高い濃度で検出されるのは周知の通りであるが，硫化水素は水溶性が高いため，拡散や巻き上げにより底層水中へ容易に移行すると思われる。硫化水素は $H_2S=HS^-+H^+$, $HS^-=S^{2-}+H^+$ で表される温度，pH依存平衡を示す。後者の式でS^{2-}側に傾くのはpHが10以上であることから，海中では前者の平衡のみを考慮すれば良い（Boyd and Tucker，1998）。前者の式の平衡常数は25℃で7.01であることが知られている。すなわち，pHがこれ以下ではH_2Sが多く，以上ではHS^-が多くなる。塩分の存在下ではH_2Sの比率はこれより若干低下する。例えば水温28℃，塩分30psuでpH8なら全硫化物の4.8%，pH7なら33.4%がH_2Sである（**Table 2**）。海水中の硫化水素濃度の定量法は工藤（1964），APHA *et al.*（1999）等に述べられており，全硫化物におけるH_2Sの比率の推定式はAPHA *et al.*（1999）に詳述されている。

硫化水素の毒性については，シアン化物と同じく還元型チトクロームa3の酸化を遮断して酸化的燐酸化を阻害する事により，低酸素症と同様の症状を引き起こすことが知られている（Lehninger，1977; Boyd and Tucker，1998）。しかしこの毒性はイオン化していないH_2Sに限られ，HS は細胞膜で排除されるので毒性は発揮されない。すなわち硫化水素の毒性はpHによって大きく左右される。硫化水素は好気代謝過程における反応を阻害するので，嫌気的代謝によって高い低酸素適応を示す二枚貝には硫化水素による急性毒性は表れ難いと思われる。柿野（1982）は青潮発生時の硫化物濃度をTotal-Sで2mg/L程度までであった事を示し，飼育試験により10mg/L以上では3日間で80%以上のへい死を観察した（9月に採取したアサリでは1mg/Lで100%へい死）。萩田（1985）は英虞湾内で13.9mg/Lを観測し，3日間の飼育実験では3.7mg/Lで80%，8.1mg/L以上では100%のへい死率を得ている。これらの値は無酸素における結果と類似している。これらの実験でへい死に至った硫化物濃度は極めて高く，アサリの生息する干潟域で水中の硫化物量が10mg/Lを越えることは希であろうから，硫化水素単独で短期間にへい死をもたらすことは考え難い。しかし，高橋ら（1986）によると，実験時の水温が21.5～24.5℃であったにもかかわらず，還元泥が1，2，4%と高濃度に懸濁した場合（硫化物濃度はそれぞれ2.2，3.8，9.2mg/L）は，それぞれ3，2，1日目までに約80%がへい死するという結果を得ている。これは静置した還元泥中で同様に行った実験結果よりも速やかに減耗する傾向が現れている。このことから還元状態になった底泥が蒔き上がった場合には，かなり危険な状況が想定される。

浮泥の影響

浮泥は海底面に滞留した懸濁物を総称していると考えられるが，懸濁物の質（有機物の多寡，粘土鉱物の組成，粒子の大きさ）と濃度の面から整理する必要がある。そ

Table 2. Fraction of total sulfide existing as toxic H_2S at diffrrent pH and water temperature in seawater (30psu). Calulation was followed by APHA *et al* (1999).

	Temperature (℃)								
pH	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.433	0.414	0.397	0.380	0.364	0.348	0.334	0.320	0.307
7.5	0.194	0.183	0.172	0.162	0.153	0.145	0.137	0.129	0.123
8.0	0.071	0.066	0.062	0.058	0.054	0.051	0.048	0.045	0.042
8.5	0.024	0.022	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014
9.0	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004

の観点は，
・餌料として貢献するのか？
・摂餌，呼吸の障害になるのか？
・浮泥が堆積した時に呼吸や体の固定に影響があるか？
等である。浮泥が二枚貝に及ぼす影響は主にその濾過活動を通してである。二枚貝の濾水速度，取込速度，擬糞排泄速度は懸濁粒子の質と濃度によって変化することが知られている。餌料プランクトンの濃度が一定程度以上になると濾水速度は低下し，擬糞排泄速度が上昇する，この間で取込速度は極大値を示す（Foster-Smith，1975）。一方，無機懸濁物或いは有機物含量の低い懸濁物が混合すると，懸濁物濃度が高くなるに従って濾水速度が低下し，有機物の取り込みが阻害されるようになる。例えば，餌料（*Pseudoisochrysis paradoxa*）濃度については，殻長32㎜のホンビノスガイ*Mercenaria mercenaria*の濾水率は50×10^3cells/mLに対し150×10^3cells/mLでは約半分に低下する。一方，底泥懸濁物を添加すると，0㎎/Lでは5.5L/hr/gDWが40㎎/Lでは3L/hr/gDWに低下する（Bricelj and Malouf，1984）。

このように浮泥の存在が，擬糞排出を増加させ，さらには濾水速度の低下や餌の取り込み速度を低下させる濃度に達している頻度が高くなれば，アサリのエネルギー収支の上で負の要因となりうることが予想される。懸濁物の組成は場所と時期によって大きく変動する事が予想される。現地で認められる濁水或いは浮泥の有機物含量や植物色素量を評価すると共にこれらの懸濁物がアサリに消化吸収されて栄養源として貢献しているのか実験的に明らかにする必要がある。

これらの因子の複合作用

先に述べたようにアサリは貧酸素や硫化水素にかなりの耐性を示すため，長期間無酸素状態が継続するような場合を除いて現場で見られるへい死を単一の要因でのみ説明する事は難しい場合が多い。しかしながら，幾つかの要因が重なってへい死に至る状況が作られているかも知れない。例えば，ヤマトシジミの貧酸素耐性は水温が20℃と30℃では全く異なり，LT_{100}が前者の54日から後者の10日に著しく短縮されている（中村，1997）。アサリの場合では干出時に高温を経験すればさらに生理状態が悪化するであろう。高水温で致死日数が著しく短縮されるのは硫化水素の影響についても同様である（中村，1997）。硫化水素は低pHで毒性が高いので，植物プランクトンが高密度に増殖している時には特に夜間呼吸によって炭酸イオン濃度が上昇しpHが低下するために毒性を増すと予想される。逆にアンモニアは**Table 3**に示すようにpHが高いほど非イオンのアンモニアの比率が高くなり毒性が強くなるので，日中の光合成が盛んな時にpHが上昇して毒性を示す恐れもある。また，河川の出水や工事などにより無機懸濁物が高濃度に存在する，或いは適正な植物プランクトンが不足する等の条件が継続すれば，アサリの貯蔵物質蓄積が妨げられ，結果として貧酸素等の影響を容易に受けることになるであろう。

二枚貝の生育段階から見た環境要因の影響

先に述べたように現時点では愛知県，特に三河湾を除いてアサリ種苗数が絶対的に不足しているようである。

Table 3. Fraction of total ammonia exsting as unionized ammonia at different pH and water temperature in fresh water. Calculation was followed by Boyd & Tucker (1998).

	Temperature (°C)								
pH	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
7.2	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012	0.015
7.4	0.007	0.008	0.009	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.023
7.6	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.023	0.027	0.031	0.036
7.8	0.018	0.021	0.024	0.028	0.032	0.036	0.042	0.048	0.057
8	0.028	0.033	0.038	0.043	0.049	0.057	0.065	0.075	0.087
8.2	0.044	0.051	0.059	0.067	0.076	0.087	0.100	0.114	0.132
8.4	0.069	0.079	0.090	0.103	0.117	0.132	0.149	0.169	0.194
8.6	0.105	0.120	0.136	0.154	0.172	0.194	0.218	0.244	0.276
8.8	0.157	0.178	0.200	0.223	0.248	0.276	0.306	0.339	0.377
9	0.228	0.255	0.284	0.313	0.344	0.377	0.412	0.448	0.490
9.2	0.319	0.352	0.386	0.420	0.454	0.489	0.526	0.563	0.603
9.4	0.426	0.463	0.500	0.534	0.568	0.603	0.637	0.671	0.707

ではなぜ他の地域ではアサリ稚貝の加入が減少したのであろうか。考えられる要因を以下に挙げる。

・産卵量が減少した＝過剰漁獲等による母貝集団の縮小
・浮遊幼生が適地に供給されない＝流況と供給地の関係
・適地の面積が減少した＝底質環境の変化

本論に関係するのは3番目についてであるが，底質環境の変化には底質粒径の細粒化や均一化の他に，夏季などに貧酸素や還元層の形成が促進されるようになることが考えられる。特に3番目の要因との関係を評価するためには，アサリの浮遊幼生，着底仔貝，初期稚貝が貧酸素，硫化水素，浮泥等にどの程度の耐性を有するか評価する事が必要となってくる。アサリの初期成育段階において，これらの環境要因の影響を体系的に調べた研究はまだ報告されていないので，他の二枚貝での研究例をここに紹介する。

成貝或いは殻長数㎜の稚貝を対象に実験を行うと著しい環境耐性が示されるが，胚，浮遊幼生，着底初期稚貝では上記の環境要因に対する耐性は著しく低くなる。Widdows *et al.*（1989）はバージニアガキ*Crassostrea virginica*幼生の生残に及ぼす無酸素の影響を調べており，半数致死時間が殻長82，167，312㎛でそれぞれ11，18，51時間と成長に従って耐性を獲得していく様子が示されている。さらに殻高16㎜の付着稚貝では約150時間に延長している。遊泳行動の点から見ると，バージニアガキの浮遊幼生は酸素飽和度10～20%で鉛直方向の遊泳速度が著しく低下する（Mann and Rainer，1990）ことが認められている。また，*M.mercenaria* 幼生の成長に対する溶存酸素と懸濁物濃度の影響が実験的に調べられ（Huntington and Miller，1989），通常の溶存酸素濃度（6.5㎎/L）に比べて低酸素下（4，2，1㎎/L）では有意な成長の抑制は見られないが，過酸素下（13.7㎎/L）では有意な成長抑制が見られている。懸濁物濃度については2200㎎/Lでのみ有意な成長抑制が見られた。酸素濃度は24時間，懸濁物は48時間の実験であったが，この間の生残には全く有意差が見られない。硫化水素についての二枚貝幼生を用いた研究例は少ないが，全硫化物濃度が0.1㎎/Lでもムラサキイガイ胚の半数異常発生を示す（Knezovich *et al.* 1996）という結果が得られている。

上記のような初期成育段階の生残成長を決定する要因の解析はアサリの種場形成（場の広さと生息密度）を予測する上で重要な要素である。

今後の研究に向けて

ここで取り上げた貧酸素，硫化水素，浮泥は必ずしもアサリの成長・生残を抑制する要因のすべてを含んでいる訳ではない。さらに他の環境要因の影響も探索する必要があろう。しかし，現在起こっている問題に対処するためには限られた項目ではあっても環境要因の変化とアサリの生残・成長・生理状態の変化との関係を把握することが重要である。例えば環境項目を連続的にモニタリングすると共にアサリの貯蔵物質や代謝産物の測定を定期的に行うことが上げられる。なるべくアサリの生息地の環境を反映できるように底直上（5㎝程度）の水温，塩分，溶存酸素濃度，pH，さらには濁度や現場蛍光強度のモニタリングが理想的である。生物側からは定期的に少なくともアサリの冷凍サンプルを保管し，さらには潜砂や濾水能力の試験，有機酸分析用試料の確保などにより多角的な解析が可能になり，へい死に至る過程の解明に近づくものと思われる。また対策技術開発のために目標値の設定する場合にも重要な知見が得られる筈である。

文　献

Abraham A., Couturier C. and Parsons J. A., 1996: Toxicity of un-ionized ammonia to juvenile giant scallops, *Placopecten magellanicuss. Bull. Aquacult. Assoc. Can.*, **96(3)**, 68−70

愛知県水産試験場．1995：平成6年度夏季におけるアサリの大量へい死について．愛知水試研究業績C-16，21pp.

青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明・中尾　徹・今尾和正．1999：三河湾における貧酸素化によるアサリ（*Ruditapes philippinarum*）の死亡率の定式化Ⅱ．*J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, **5 (1 and 2)**, 31−36

APHA, AWWA, WPCF, 1999 : Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition, American Public Health Association, Washington D.C., USA.

Boyd C. E. and Tucker C. S., 1998 : Pond aquaculture water quality management. Kluwer academic publishers, Boston, 700pp.

Bricelj V. M. and Malouf R. E., 1984: Influence of algal and suspended sediment concentrations on the feeding physiology of the hard clam *Mercenaria mercenaria. Mar. Biol.*, **84**, 155−165

Foster-Smith R. L., 1975: The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra*(Montagu). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **17**, 1−22

萩田健二，1985：貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響．水産増殖，**33(2)**，67−71

Hochachka P. W., 1984：低酸素適応の生化学ー酸素なき

世界で生きぬく生物の戦略（橋本周久，阿部宏喜，渡辺終五訳），恒星社厚生閣，東京，194pp.

Huntington, K. M. and Miller D. C., 1989：Effects of suspended sediment, hypoxia, and hyperoxia on larval *Mercenaria mercenaria* (LINNEUS,1758). *J. Shellfish Res.*, **8(1)**, 37−42

柿野　純，1982：青潮によるアサリへい死原因について貧酸素水および硫化物の影響．千葉水試研報，**40**，1−6

柿野　純，1986：東京湾奥部における貝類へい死事例特に貧酸素水の影響について．水産土木，**23(1)**，41−47

Knezovich J. P., Steichen D. J., Jelinski J. A. and Anderson S. L., 1996: Sulfide tolerance of four marine species used to evaluate sediment and pore-water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **57**, 450−457

工藤英郎，1964：海水中の硫化物定量法の吟味と松島湾の海水中の硫化物量．東北水研報，**24**，1−7

Lehninger A. L., 1977：生化学（上）第2版— 細胞の分子的理解 —（中尾　眞監訳），共立出版，東京，592pp.

Mann R. and Rainer J. S., 1990 : Effect of decreasing oxygen tension on swimming rate of *Crassostrea virginica* (GMELIN, 1791) larvae. *J. Shellfish Res.*, **9(2)**, 323−327

中村幹雄，1997：宍道湖におけるヤマトシジミと環境との相互関係に関する生理・生態学的研究，北海道大学博士論文

中村幹雄，品川　明，戸田顕史，中尾　繁，1997：宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性，水産増殖，**45(2)**，179−185

西脇三郎，1999：「排出」，軟体動物学概説（下巻），サイエンティスト社，東京,112−126.

農林水産省統計情報部．1954−2001：昭和28年度〜平成12年度漁業養殖業生産統計年報，農林統計協会,東京

大島泰雄，1994：水産増・養殖技術発達史，緑書房，東京，476pp.

白石　淳，長　修司，三島かおり，1995：北部九州産アサリ（*Ruditapes philippinarum*）の筋肉部分と内臓部分の一般成分の周年変化．日本家政学会誌,**46(4)**，313−319

水産庁，日本栽培漁業協会，1980−2002：昭和52〜平成12年度栽培漁業種苗生産，入手・放流実績．

鈴木輝明，青山裕晃，甲斐正信，1998：三河湾における貧酸素化によるアサリ（*Ruditapes philippinarum*）の死亡率の定式化．*J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, **4(1)**，35−40

Stevens F. S., 1982 : Sensitivity of juvenile hard clams (*Marcenaria mercenaria*) to ammonia. *J. Shellfish Res.*, **2(1)**, 107

高橋清孝，佐藤陽一，渡辺　競，1986：アサリの生存限界に関する実験的検討．宮城水試研報，**11**，44−58

Widdows J., Newell R. I. E. and Mann R., 1989: Effect of hypoxia and anoxia on survival, energy metabolism, and feeding of oyster larvae (*Crassostrea virginica*, Gmelin). *Biol. Bull.*, **177**, 154−166

質疑応答

（時間超過のため質疑応答なし）

内湾ベントスにおける地域個体群間ネットワークの重要性

風呂田　利夫*

Importance of network system among benthic-animal local populations in bay waters

Toshio FUROTA*

Abstract:

Most macrobenthic animal species inhabiting in tidal flats and subtidal bottoms in bay waters have a dispersal phase by plankton larvae in the early life history. During the plankton stage, larvae tend to be passively transported to new benthic habitats far from the natal habitat. This means that local benthos populations mainly consist of immigrants released from other local populations.

In case of the introduced spider crab, *Pyromaia tuberculata*, in the inner Tokyo Bay where summer bottom hypoxia is severe, population of the crab quickly recolonize in every fall when the bottom have recovered from the hypoxia. This recolonized population quickly reaches maturity by next spring, then can release plankton larvae prior to catastrophic mortality of the benthic animals caused by next summer hypoxia. The larvae released in the inner bay disperse to entire area of bay water, and can settle in the mouth part of the bay where DO is enough to maintain crab population during summer. This mouth part population also reaches maturity before next fall, then produces larvae for recolonization of the crab in the inner bay. Thus, seasonal trade of the crab larvae between local populations, which are established in the inner and mouth areas of the bay, is the essential process to maintain the crab population in the entire area of the bay.

During 1980s in Tokyo Bay, 6 species of the tidal-flat mud snails belonging to Family Batillariidae and Potamididae commonly occurred in several tidal flats where escaped from large-scale reclamation of the flats along the entire coast line of the bay conducted during late 1960s to early 1970s. During 1990s, however, 5 species (*Batillaria multiformis, B. zonalis, Cerithidea rhizophorarum, C. cingulata* and *C. djadjariensis*) that have a plankton larval stage, had been extinct or had become endangered, but local populations of *B. cumingi* that develops directly without larval stage tended to increase. Extinction or decline of mud snail populations that have a plankton-dispersal process is probably resulted from the failure of larval immigration relating with isolation of each flat from others caused by the reclamation, and by bottom hypoxia which the larvae should encounter before approach to the shore.

These studies suggest that a viewpoint of network system between local populations of benthic animals through larval dispersal is important to understand the mechanism of the population maintenance of the benthic animals in bay waters.

Keywords: bay water, metapopulation, network, tidal flat, zoobenthos

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*　東邦大学理学部（Faculty of Science, Toho University, Miyama 2-2-1, Funabashi, Chiba, 274-8510, Japan）

内湾をはじめ海岸に生息する動物ベントス（以下ベントスと略す）の多くの種は，その生活史初期においてプランクトン幼生期を持つ．その幼生期間は，種類や水温によって異なるが多くの種で数週間から1ヶ月におよぶ。この間，幼生は生活基盤となっている海水体の移動（流れ）により受動的に移送されやすく，結果的に誕生した生息場所からは引き離される．しかし，プランクトンとしての成長後，ベントスとしての生活が可能な海底あるいは海岸に到着そして着底し，そこで成長できれば，個体群にとって移送は分散手段であり，個体群の拡大あるいは世代更新につながる．このことは，内湾に生息するベントスの多くの種が，親の生息場とは異なる場所で新たな生活を始めていることになり，ベントス各種の地域個体群は他所からの幼生分散を通して成立しているメタ個体群としてその再生産機構を維持させていることになる。したがって，プランクトン幼生期を持つ内湾ベントスの個体群維持を考える場合，各地の地域個体群が他の地域個体群とどのように関連しているかの視点が不可欠である。

ここでは，幼生分散をとおした地域個体群間の相互依存の関係が内湾動物ベントスの個体群維持に不可欠である例として，東京湾でのイッカククモガニの個体群維持機構について紹介するとともに，近年，東京湾をはじめとする全国各地の干潟に生息するウミニナ類の地域個体群の衰退あるいは消滅原因について，幼生分散による地域個体群間のネットワーク崩壊の視点から考察する。

イッカククモガニの個体群維持機構

イッカククモガニ*Pyromaia tuberculata*は，北米カリフォルニア州から中米コロンビアの太平洋岸に生息するクモガニ科に属する殻幅2㎝以下の小型のカニで，東京湾には1960年代に持ち込まれたと推定されている（風呂田，古瀬，1988）。日本では，仙台湾から北九州にかけての主に汚濁内湾に生息し，東京湾では潮下帯大型ベントスの優占種となっている（風呂田，古瀬，1988；風呂田，未発表）。東京湾周辺において本種個体群は，三浦半島周辺の湾口部や，湾と隣接する相模湾でも出現するものの極めて少なく，また浦賀水道では周年にわたって本種プランクトン幼生が採集されないことから，東京湾内湾域で自立した地域個体群を形成していると考えられる（Furota, 1995）。

東京湾では，湾奥において夏季の底層貧酸素化が著しく，この時期広範囲にベントスの生息できない海域が形成される（Fig. 1）。この東京湾における小型底曳き網による大型ベントスや底魚の調査では，イッカククモガニは東京湾内湾（観音崎—富津洲以北）域の潮下帯（いわゆる平場）全域に生息し，湾口では周年生息が見られるものの，湾奥では夏季の貧酸素期には消滅する。しかし，この湾奥では秋期の貧酸素化の解消とともにカニ集団は急激に回復し，冬には湾内で最も高密度な集団を形成する（Fig. 2）。

このカニは東京湾において周年にわたって繁殖し，幼生放出を継続している。幼生期は他のクモガニ類と同様，ゾエアⅠならびⅡ期，そしてメガロパ期をもち，プランクトン幼生期間は夏で約10日，冬で1〜2ヶ月と推定されている。またカニ期の成長はすこぶる早く，着底後は3ヶ月で成熟し繁殖を開始する。東京湾奥部では夏の貧酸素化でこのカニはほぼ全滅するが，貧酸素状態の解消とともに稚ガニが出現し，この稚ガニは冬の終わりには成熟し春には繁殖を開始する（Furota, 1996a; Furota, 1996b）。しかし，このようにして再生された湾奥集団は夏の貧酸素状態の再来によりまた消滅する。このように湾奥部では，イッカククモガニ地域集団の全滅と急速な回復とが毎年くり返されており，地域集団の回復は近隣海域からの幼生分散に依存していると考えられる。このことは，湾奥における集団は同所的再生産は不可能で，隣接海域から復活の原資を売れ取ることから始まる他力依存的復活機構を有していることになる（風呂田，1988）。

Furota（1995）は東京湾全域での周年にわたる本種の底生期（カニ）とプランクトン幼生の分布調査を行った。夏季の貧酸素化により湾奥のカニ集団が全滅した後，秋の貧酸素化の解消とともに湾口のカニ集団から放出された幼生が湾奥まで分散侵入し，着底後素早く成長し，冬の終わりには繁殖を開始した。夏の貧酸素化の直前には，湾奥で放出され幼生は成長しながら湾内全域に広く分散し，湾口側にもカニの新規加入をもたらした。夏季の貧酸素期には，湾奥では集団は消滅し，幼生の侵入も阻害されていた。

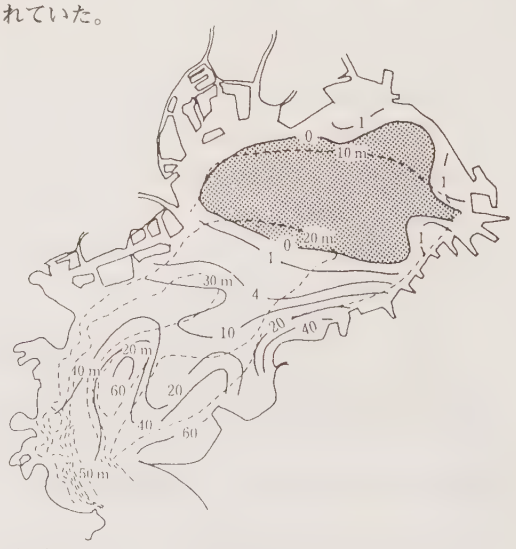


Fig. 1. Number of macro-benthic animal species in a summer of 1981 in Tokyo Bay. A shaded area shows no animal species were collected (Drawn from Fisheries Agency of Japan, 1982)（水産庁，1982より作図）。

これらの結果に基づく，イッカククモガニの東京湾全域における個体群維持機構をFig. 3に示す。比較的環境が安定している東京湾湾口部の集団は，夏から秋の湾内における生き残り集団であり，幼生の放出とその分散により湾奥集団復活の原資を作る。この原資により復活した湾奥集団は，春から初夏にかけて秋とは逆に湾口部集団の復活もしくは補強の原資となっている。このような，湾内の環境の異なる2ヶ所での季節周期的環境変化に対応した地域集団の形成とその地域集団間の相互依存関係を成立させているのは，貧酸素域を除き湾内全体に周年的に形成される幼生プールであり，その幼生プール幼生着底後の素早い成長と親ガニの周年にわたる繁殖活動により維持されている。

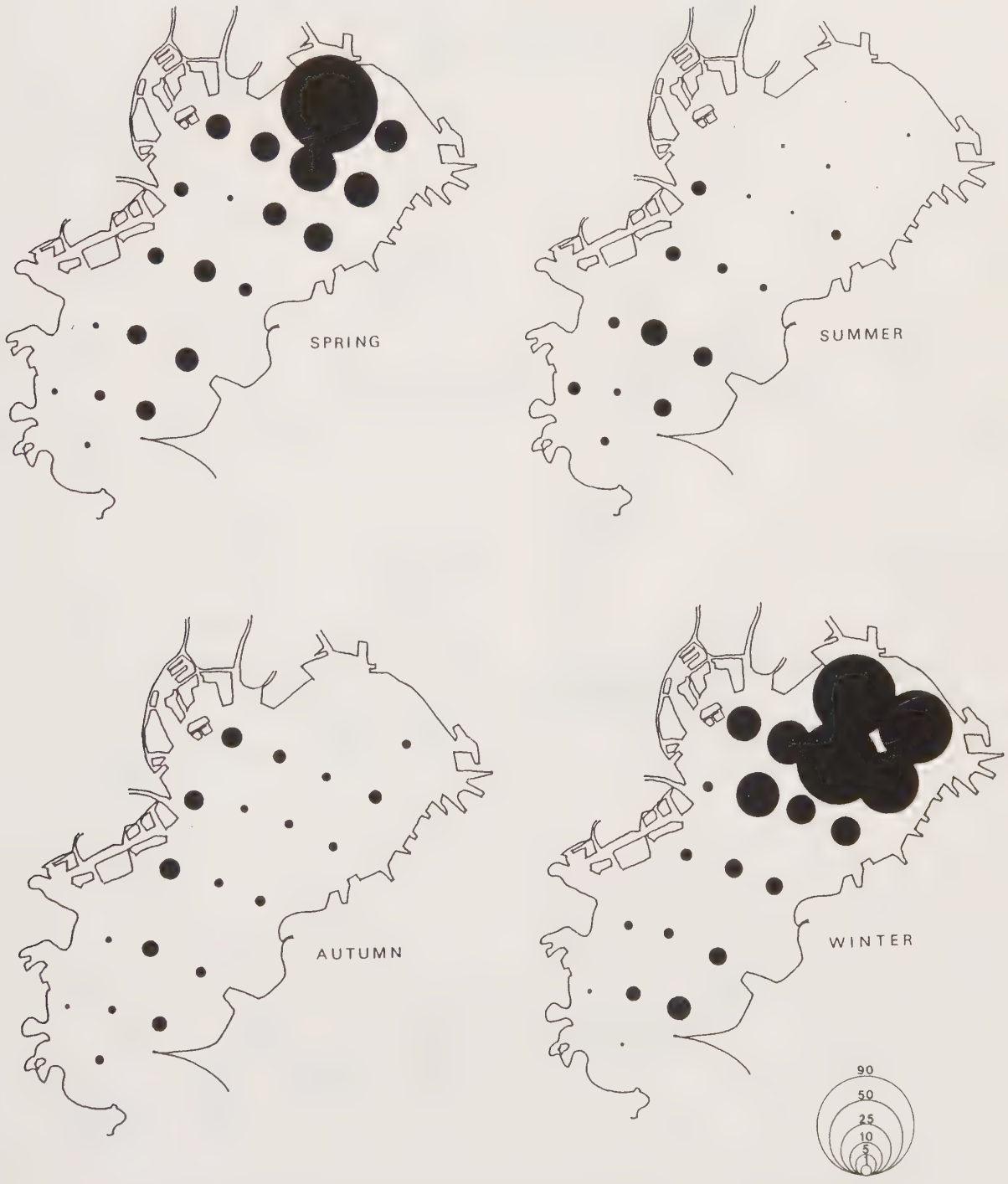


Fig. 2. Seasonal change in abundance of the introduced spider crab, *Pyromaia tuberculata*, in Tokyo Bay (Shimizu, unpublished data).

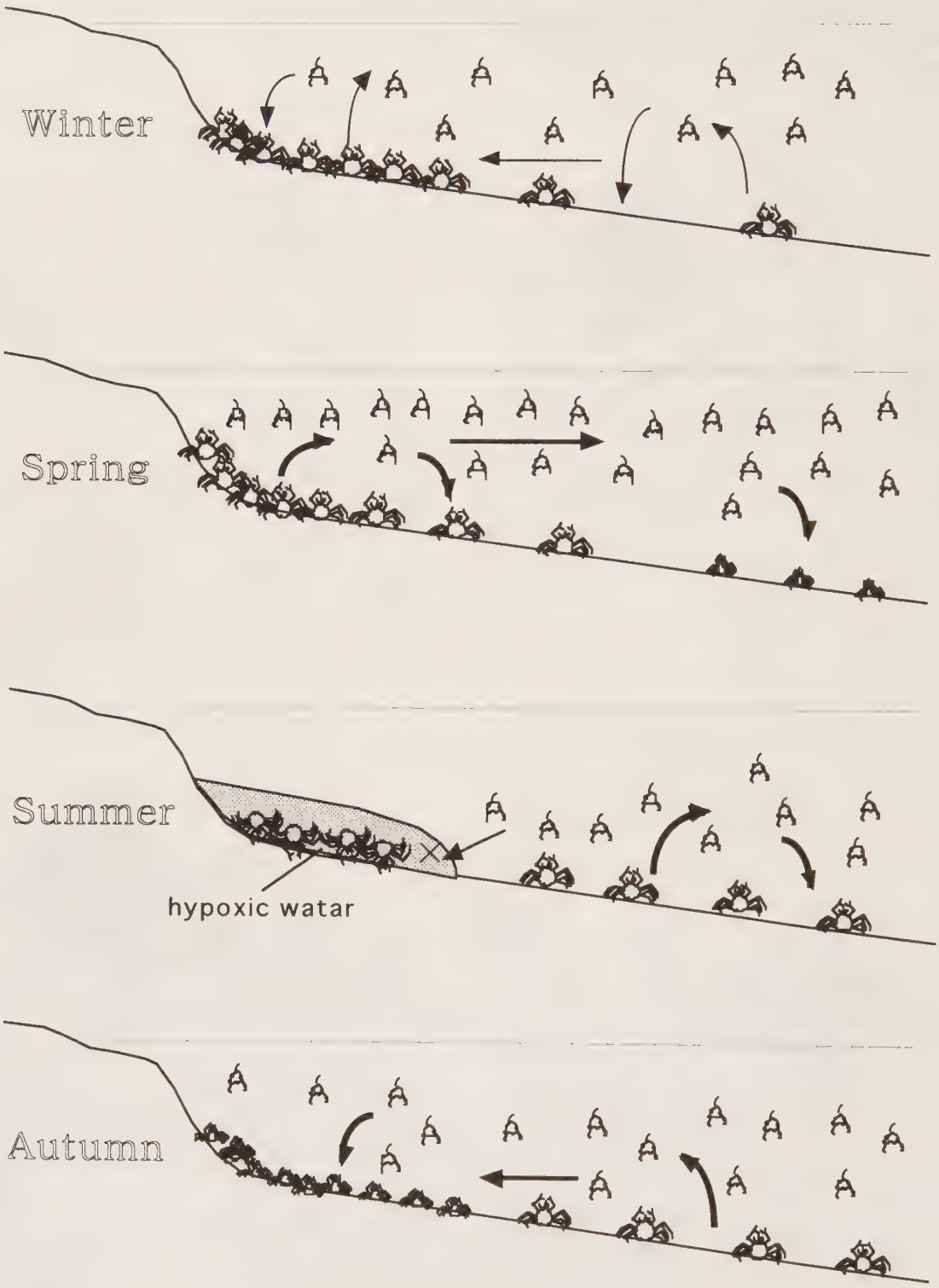


Fig. 3. Schema of population dynamics of the introduced spider crab, *Pyromaia tuberculata*, in Tokyo Bay.

ウミニナ類の衰退

1960年頃，東京湾岸では埋立はすでに始まっていたとはいえ，各地特に千葉側では広大な干潟が存在していた。しかし，1960年代後半のいわゆる経済高度成長期以降，東京湾の埋立は急速に進行し，約10年の間に干潟のほとんどが消失した（**Fig. 4**）。現在の点在的な干潟の残存状況は1980年頃に形成されたもので，その後大きな変化はない。

干潟にはアサリをはじめとする多くのベントスが生息するが，腹足類のウミニナ科ならびにキバウミニナ科の広義のウミニナ類も干潟を代表的する動物分類群である。東京湾の干潟ではウミニナ*Batillaria multiformis*，ホソウミニナ*B. cumingi*，イボウミニナ*B. zonalis*，ヘナタリ*Cerithidea cingulata*，カワアイ*C. djadjariensis*，フトヘナタリ*C. rhizophorarum*の生息が見られ，彼らは河口の塩性湿地内の干潟ならびに前浜干潟の潮間帯中部から上部にかけて豊富に生息していた（稲葉，1955；大嶋，風呂田，1980；森田，1986；Fukuda, 1994；風呂田　2000）東京湾の埋立をまぬがれた干潟は，千葉県では湾奥三番瀬の一部，谷津干潟，江戸川放水路，湾中央の小櫃川河口を中心とした盤州，湾口の富津となり，東京湾では葛西沖三枚州，神奈川県では金沢八景の野島と三浦市の江奈湾を残すのみとなった。この大規模な埋立が進行した直後の1980年代ではウミニナ類はいくつかの干潟で生き残っていた（**Fig. 5**）。しかし，1990年代に入ってホソウミニナを除いてウミニナ類の地域個体群の衰退が顕著化し，2000年ではウミニナは谷津干潟，フトヘナタリは小櫃川河口湿地，カワアイは行徳の人工潟湖干潟にいずれも小規模に残るのみとなり，ヘナタリとイボウミニナは東京湾では生息地が確認できなくなった（風呂田，2000；Furota *et al.*, 2002；飯島ら，2002）。

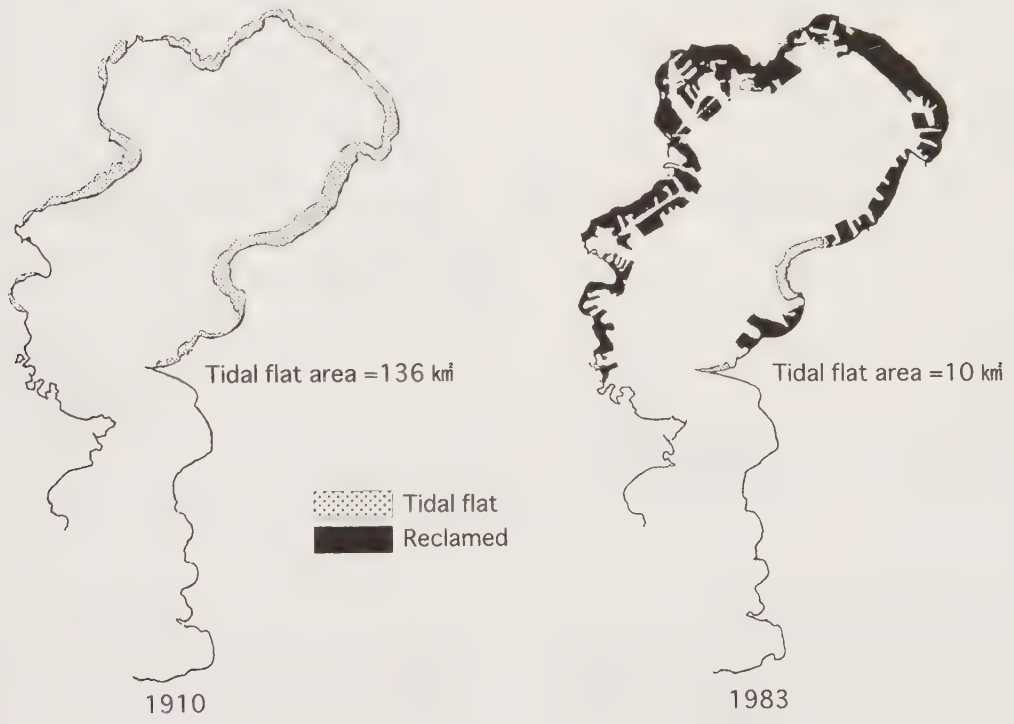


Fig. 4. Lost of tidal flats in Tokyo Bay during from 1910 to 1983.

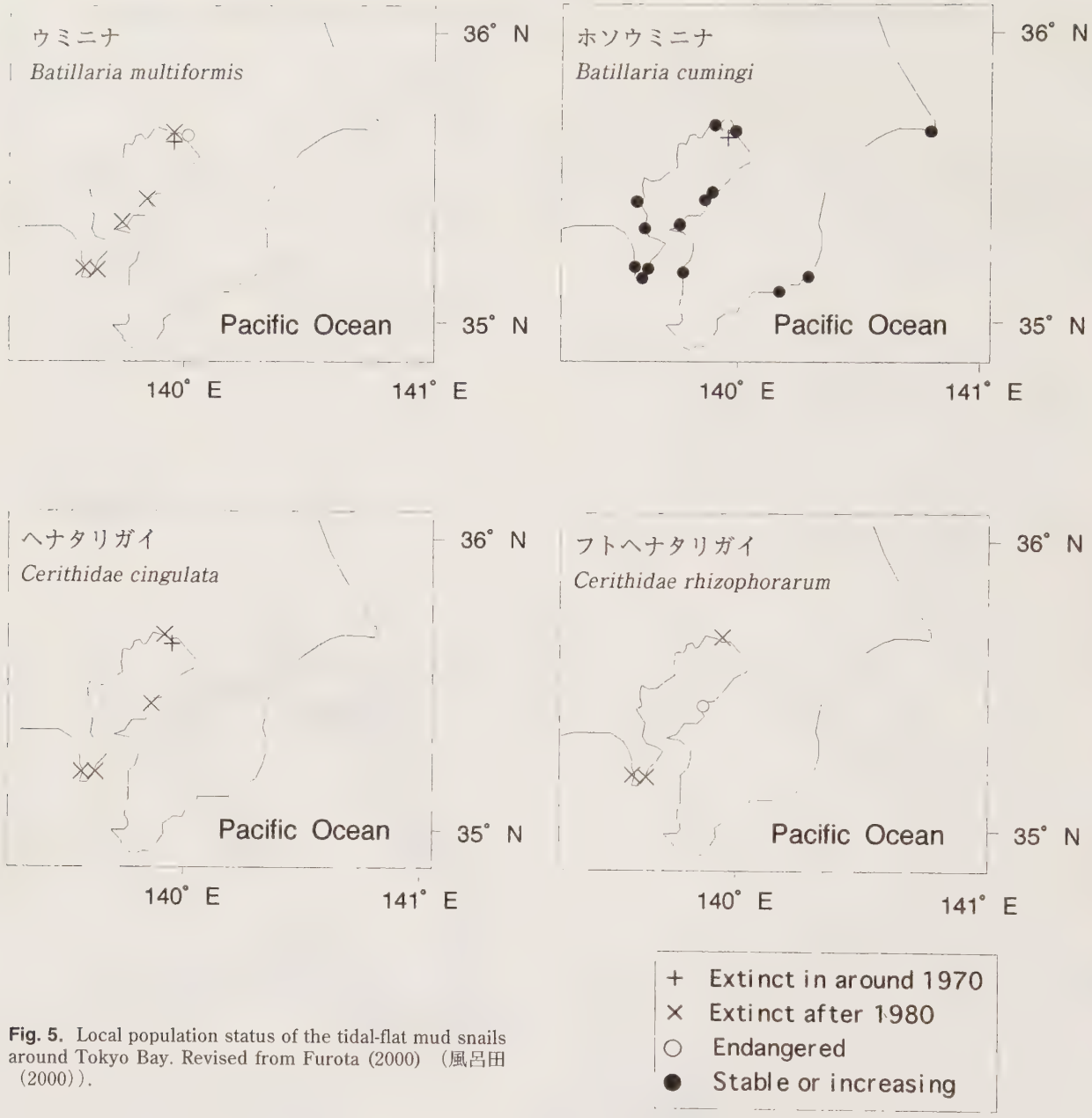


Fig. 5. Local population status of the tidal-flat mud snails around Tokyo Bay. Revised from Furota (2000) (風呂田 (2000)).

ウミニナは，現在の東京湾内とその周辺では谷津干潟のみで生息が知られている。この干潟は，1960年代後半の埋立時に取り残された自然干潟の一部で，その後は2本の水路で東京湾とつながる極めて閉鎖的な地形となっている。閉鎖干潟となってから15年以上経過した，1985年の調査では，少数のイボウミニナとともに多くのウミニナの生息が確認された（森田，1986）。しかしこの調査では両種とも稚貝は見られず，ウミニナは殻の変形した老齢個体が多かった。その後，1997年から2001年にかけての調査では，イボウミニナは見られず，ウミニナは森田の調査と同様に老齢個体のみでさらに少数化し，稚貝は発見できなかった（Furota *et al.*, 2002）。したがって，イボウミニナやウミニナは稚貝の新規加入がないことで，残存個体の加齢死亡とともにイボウミニナではすでに消滅，ウミニナも消滅寸前の状態である。

フトヘナタリは現在では小櫃川河口湿地に少数残存しているのみである。ここでもウミニナと同様に老齢化した個体が優占しており，湿地内でも分布域の縮小が顕著なことから個体群として消滅の危機にある（風呂田，2000；風呂田，未発表）。この湿地内では1980年代までヘナタリの豊富な生息も見られたが，1996年の1個体の確認（福田·風呂田，未発表）以来発見されず，現在では個体群は消滅した。

カワアイは埋立前の湾奥の干潟に豊富に生息し（稲葉，

1955)，1980年代でも江戸川放水路で豊富な生息が見られた（Fukuda, 1994)。しかし，現在ではここの個体群は消失した（飯島ら，2002；桝本，2002)。2001年に，江戸川放水路と水路ならびに港湾で結ばれている人工潟湖，新浜湖の湿地状砂泥干潟で東京湾では唯一となる小規模な個体群が発見された（飯島ら，2002)。この人造湖に干潟が造られたのは1976年であり，造成後少なくとも約10年間は生息が確認されておらず，個体群の形成はごく最近と推測されている。カワアイは，東京湾では新浜湖を除いて最後の生息地であった江戸川放水路干潟では他のウミニナ類とともに個体群がすでに消滅しており（桝本，2002)，近隣の人工干潟にと新たな生息場を変更しながらも，かろうじて東京湾内に小規模な個体群を維持している。

これら，多くのウミニナ類でその地域個体群が消滅あるいは衰退しつつある中で，ホソウミニナだけが多くの干潟で個体群を安定的に維持しており(**Fig. 5**)，谷津干潟では1996年以前では生息が報告されていないが（森田，1986；環境庁ほか，1996；風呂田，鈴木，1999)，1990年代後半になって生息が確認され，現在急激に個体密度を拡大しつつある（Furota *et al.* 2002)。また，人工潟湖の新浜湖でも，1990年に小櫃川河口干潟から湖内の転石海岸に人為的に移植された後，安定的に個体数と分布範囲を拡大させつつある（蓮尾，風呂田，2000)。

これらウミニナ類の生活史初期特性を**Table 1**に示す。ウミニナ類6種の中で，ホソウミニナだけが直達発生すなわち幼貝はプランクトン期として海に出ることなく親の干潟に加入し，その他の種はプランクトン幼生として孵化し，海水中でプランクトン期をへて干潟に到達，そこで着底し幼貝として生活を始める。プランクトン期をもつウミニナ類の種において個体群の衰退や消失が見られることから，風呂田(2000)はプランクトンとして海水中に分散することが個体群衰退の要因と考え，干潟埋立による干潟の大規模な減少ならびに残存干潟のピンポイント化が分散した幼生の干潟到達率の低下を招き，これが個体群の更新を阻害していると推測している（**Fig. 6**)。また，これらのウミニナ類は夏に繁殖するため，富栄養化した内湾底層水の貧酸素化も，幼生の生き残りや干潟への到達の阻害要因として働く可能性も指摘している（**Fig. 7**)。

このようなウミニナ類個体群の衰退が見られるなか，直達発生のホソウミニナは，江戸川放水路を除いて，残存干潟のみならず，外房の岩礁海岸の転石地やタイドプールでも豊富に生息している。プランクトン期のないホソウミニナの残存地域個体群にとっては，周辺干潟の消失や沖合い水の貧酸素化に起因したリスクからは無縁であり，局所的孤立生息場でも個体群を維持でき，環境が安定していれば残された干潟のなかで急激に個体数を拡大できる。

江戸川放水路では，1980年代までホソウミニナはもとより，ウミニナ，ヘナタリ，フトヘナタリ，カワアイなどウミニナ類のほとんどの生息が見られたものの（Fukuda, 1994)，現在ではホソウミニナの極わずかな生息を残し他種の個体群は消滅した。この放水路干潟では，洪水防止のため大量降雨時に江戸川から河川水放流が行われ，干潟の表土流出などの大規模な物理的侵食が起こる（桝本，2002)。このようなとき表在性のウミニナ類の流出も起こったと考えられ，流出先は浚渫された港湾であり生存の可能性はほとんどない。直達発生のホソウミニナにおいては個体の死亡を伴う生息地の物理的攪乱が地域個体群衰退の主因と考えられる。

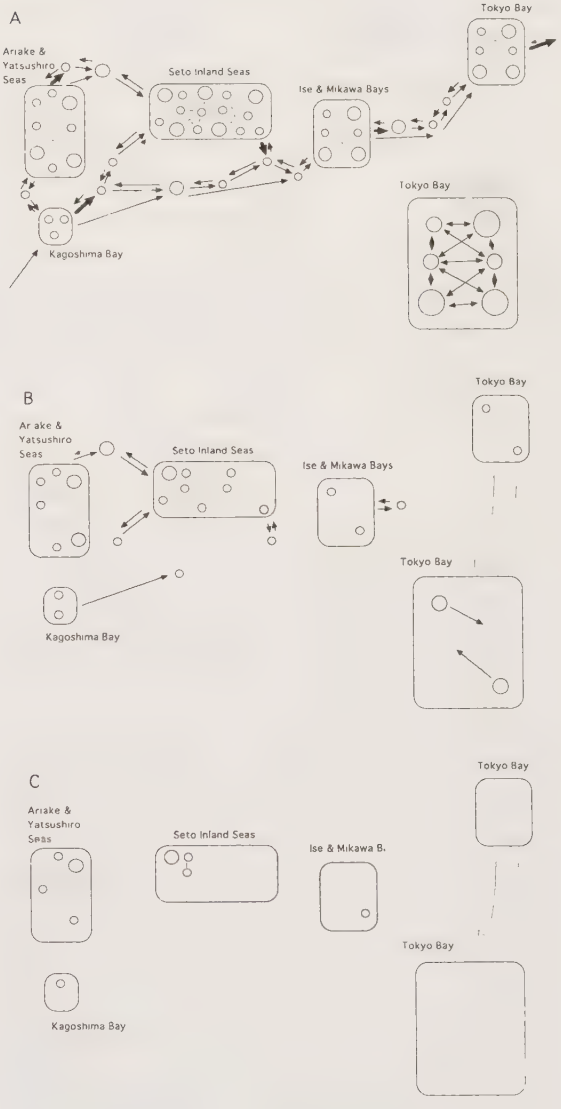


Fig. 6. Destruction of the network between local populations of the tidal-flat mud snails (Furota, 2000)
（（風呂田，2000））.

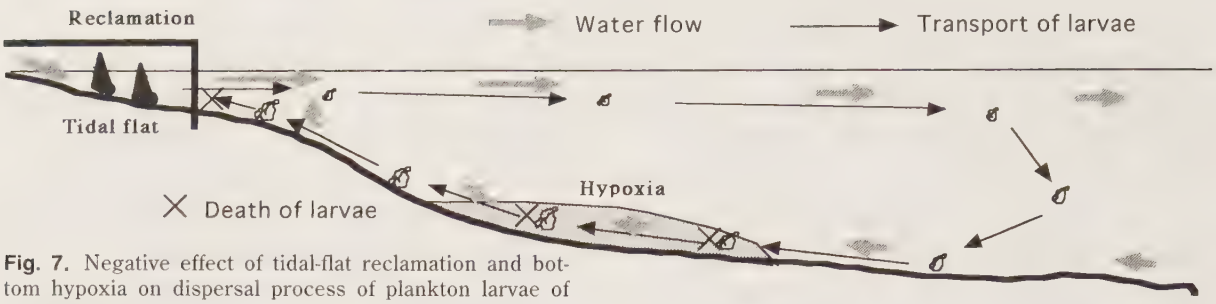


Fig. 7. Negative effect of tidal-flat reclamation and bottom hypoxia on dispersal process of plankton larvae of the tidal-flat mud snails.

Table 1. Developmental pattern of the tidalflat mud snails, and their population status observed in Tokyo Bay during the last decade of the 20th century.

Species	Developmental pattern	Breeding season	Population status	References
Batillaria cumingi	direct development	spring－fall	increasing	足立・和田（1997） Furota *et al.* (2002) 風呂田（未発表）
B. multiformis	plankton development	summer	endangered	Furota *et al.* (2002)
B. zonalis	plankton development	?	extinct	上村（2001）
Cerithidea cingulata	plankton development	summer	extinct	網尾（1963）
C. rhizophorarum	plankton development	summer	endangered	Kimura (per. com.)
C. djadjariensis	plankton development	summer	endangered	Kimura (per. com.)

ネットワークの視点

Fig. 8に地域個体群間の幼生分散を通した交流関係を示す（Booth and Brosman, 1995を一部改変）。ホソウミニナのように直達発生（Direct development）を行うものは分散の機会は少なく，地域個体群間の交流はほとんどない自立した地域個体群である（Closed population）。しかし，干潟や内湾を始め海域に生息するベントスの多くはプランクトン幼生期を持ち，分散することで新規加入個体の供給と受給において地域個体群間のネットワークを持っている。

そのネックワークの構造は幼生分散の度合いや隣接する地域個体群の連絡強度により大きく異なる。イッカククモガニの場合には東京湾の湾口部と湾奥部の季節的生息地変更がプランクトン幼生の湾内での分散をとおして行われている（Open population, simplest diffuse-source dynamics）。プランクトン幼生の分散先は，秋では貧酸素解消に伴う新たな生息空間で，春では貧酸素回避場であり，ともにそこで繁殖できることで周年にわたりプランクトン幼生が湾内にプールされていることが，個体群としての再生産を可能にしている。東京湾海底に生息する他の多くのベントスは，年1回の限られた季節しか繁殖できず，たとえ貧酸素回復後の海底で生活を始めることができたとしても，つぎの繁殖前に死亡する無効分散で終わる可能性が高い。したがってイッカククモガニは素早い成長と湾全体への幼生分散により貧酸素海域を有効に利用できる特異的な例と言えよう。

プランクトン幼生期を持つウミニナ類においては分散はできるものの到達先の干潟の消失や，移送途中での貧酸素水の存在により，着底場所への到達可能性の致命的な減少が個体群の更新を停止させ，時間経過とともに残存個体群の衰退や消失をもたらしたと推定される。このようにプランクトン幼生期に分散する内湾ベントスにとって，個体群が繁栄するにせよ衰退するにせよ，個体群の維持機構については散在的に形成される生息地における地域個体群間での幼生の放出と到達の幼生分散をとおしたネットワークで成立しているメタ個体群の視点で考える必要がある（Open population, diffuse-source dynamics）。このことはメタ個体群成立機構としてのネットワークの維持と強化が，内湾底生動物の安定的生息に不

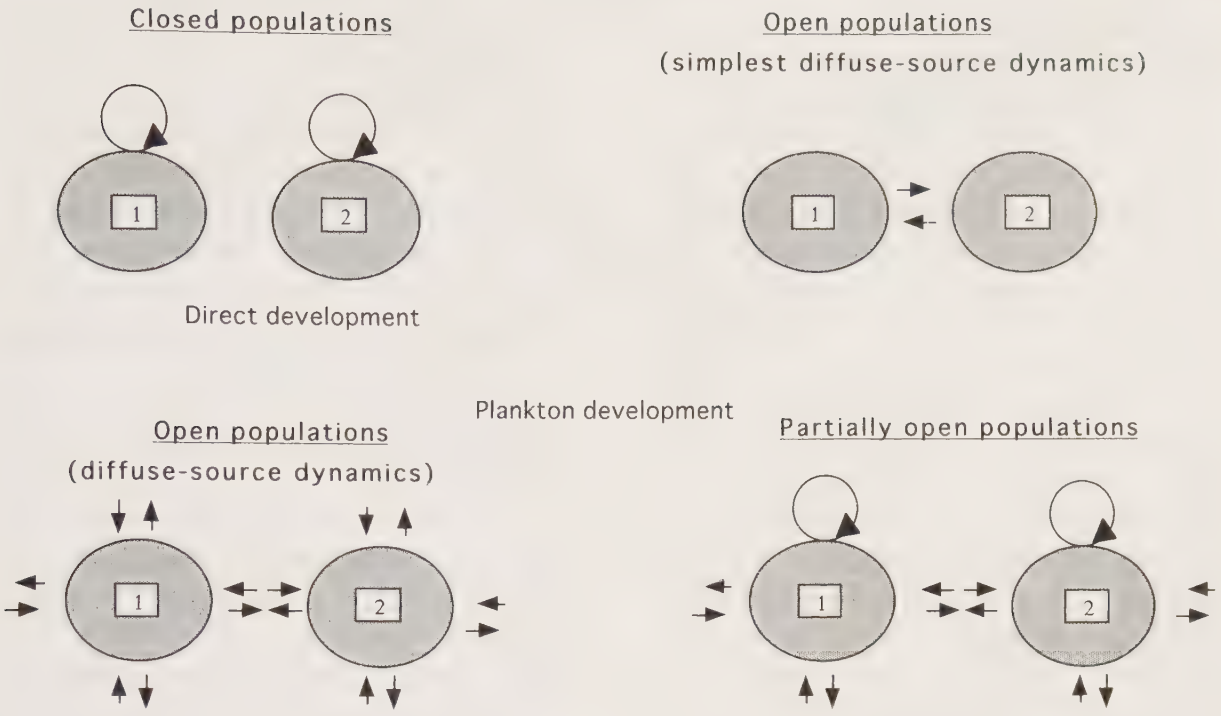


Fig. 8. Closed population in direct developers, and metapopulations in plankton developers (Revised from Booth・Brosman, 1995).

可欠であることを示している。

メタ個体群の成立機構は，繁殖集団(ベントス期)とその集団間の幼生（プランクトン期）の移送状況により異なる。干潟を代表するベントスの一種であるコメツキガニの天草における孤立的地域個体群の生活史研究において，Suzuki and Kikuchi（1990）はプランクトン幼生の多くが親生息地の干潟に隣接する沿岸部に留まり，親の干潟に回帰着底していることを見出した。この場合，このコメツキガニ地域個体群は，幼生の一部は他所へ分散するものの，親生息地への安定した再加入機構を持つことで自立的な個体群維持をはかっていることになり，分散による地域個体群間の交流が短期的な個体群維持にとって必ずしも不可欠ではない(Partially open population)。

一方玉置らは，有明海とその外湾にあたる橘湾周辺に生息する3種のスナモグリ類において，ニホンスナモグリ*Nihonotrypaea japonica*は内湾である有明海の干潟に生息し，ハルマンスナモグリ*N. harmandi*とスナモグリ*N. petalura*は有明海の湾口部から外湾部の干潟に生息し，種間の生息域に相違があることを明らかにしたうえで（Tamaki *et al*, 1999），3種の幼生の分散と回帰について詳細な研究を行った（Tamaki and Miyabe, 2000)。それによると有明海内に広く多数の地域個体群をもつニホンスナモグリでは，プランクトン幼生は発生初期には一部外湾に分散するが有明海の湾口に集中的に分布していた。したがって有明海内各地のニホンスナモグリ地域個体群は，各地から放出された幼生から形成される共通の幼生プールからの子孫供給を受けて成立しており，湾内各地の干潟各地の干潟個体群はメタ個体群として成立していることを明らかにした。

まとめ

東京湾は埋立以前では干潟は湾岸のほぼ全域に発達し，各河川の河口域には普遍的に塩性湿地が存在した。したがって干潟から放出されたプランクトン幼生は，たとえ湾内の広域に分散あるいは特定水域に集中分布して産み出された干潟から離されたとしても，成長後湾内各所にある海岸部や河口部に接近することで定着場を見出し，そこで成長そして繁殖することができた。そして，新たな生活場に同種の先住者がいれば地域個体群の更新をもたらし，もし先住者がいなければ新たな地域個体群の形成ができた。一方数10年単位の長期的に見れば，これら干潟や河口湿地は洪水という大規模攪乱による地域個体群消滅の危険性も高く，地域内だけで個体群を長期的に維持できる生活空間でもない。また貧酸素化により生物の死滅が毎年定期的に起こる湾奥海底でも，他所からの幼生分散なしには個体群の再生は起こりにくい。したがってベントスとしての生活場所が広域的には普遍的に存

在し，局所的には一時的攪乱により個体群が消滅する可能性がある海域で種個体群を歴史的時間スケールで維持するには，個体群更新の子孫を地域個体群間で幼生分散による共有化，つまり相互依存的ネットワークが機能していることが適応的生活史戦略であったであろう。しかし，人為的影響としての大規模埋立による着底場の局在化や，富栄養化や浚渫による底層水の一時的貧酸素化が，幼生期の生き残りと分散抑制を通したネットワークの崩壊をもたらし，内湾ベントスのこの歴史的個体群維持戦略をむしろ非適応的なものにしてしまった。

このように地域個体群の更新や内湾全体での種個体群の長期的維持，すなわち干潟や内湾におけるベントスの個体群の回復や保全において，幼生期を含む生活史全体の生態に関する把握が必要であり，特に生活場所間の幼生分散を通した地域個体群更新ネットワーク機構を解明し，そのうえでネットワーク維持に必要な生息地の配置，ならびに幼生分散機構維持の検討が必要とされる。

引用文献

足立尚子，和田恵次，1997：ホソウミニナの卵と発生形式，ちりぼたん，**28**：33−34.

網尾　勝，1963：海産腹足類の比較発生学ならびに生態学的研究・水産大学校研究報告，**12**：15−144.

Booth, D. J. and Brosman, D. H., 1995 : The role of recruitment dynamics in rocky shore and coral reef fish communities. *Advances in Ecological Research*, **26**：309−385.

Fukuda, H., 1994 : Estuarine mollusks of the Edogawa Drain, central Honshu Japan. *Science Report of the Takao Museum of Natural History*, **16**：1−14.

風呂田利夫，1990：東京湾奥部におけるイッカククモガニ*Pyromaia tuberculata* の個体群構造．日本ベントス学会誌，**39**：1−7.

Furota, T., 1995 : Mechanism of population maintenance in the introduced spider crab, *Pyromaia tuberculata*, in a periodic catastrophic environment. Doctoral Dissertation, Kyushu University, 89pp.

Furota, T. 1996a : Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (Lockington) (Brachyura: Majidae). I. Egg and larval stages. *Journal of Crustacean Biology*, **16**：71−76.

Furota, T. 1996b : Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (Lockington) (Brachyura: Majidae). II. Crab stage and reproduction. *Journal of Crustacean Biology*, **16**：77−91.

風呂田利夫，2000：内湾の貝類，絶滅と保全—東京湾ウミニナ類の衰退からの考察。月刊海洋，号外，**20**：74−82.

風呂田利夫，古瀬浩史，1988：移入種イッカククモガニの日本沿岸における分布，日本ベントス研究会誌，**33/34**：75−78.

Furota, T., Sunobe, T., and Arita, S. 2002 : Contrasting population status between planktonic and direct development batillariid snails, *Batillaria multiformis* (Lischke) and, *B. cumingi* (Crosse) at an isolated tidal flat in Tokyo Bay. *Venus*, **61**：15−23.

風呂田利夫，鈴木嘉平，1999：東京湾奥部谷津干潟1986−87年の冬期における底質環境ならびにマクロベントスの生息状況と垂直分布．日本ベントス学会誌，**54**：36−43.

蓮尾純子，風呂田利夫，2000：新浜．千葉県の自然誌本編7，千葉県の動物2，海の動物，県史シリーズ**46**，16−30.

飯島明子，黒住耐二，風呂田利夫，2002：東京湾人工潟湖干潟に形成された絶滅危惧種の干潟産腹類カワアイ*Cerithidea djadjariensis*（Martin）（軟体動物門，腹足綱）の個体群．日本ベントス学会誌，**57**：34−37.

稲葉　亨，1955：'吸い上げ' の貝類，千葉生物学会会報，**5**：13−14.

上村了美，2001：干潟の物質循環におけるイボウミニナ*Batillaria zonalis*の役割について。琉球大学大学院理学研究科修士論文，29pp.

環境庁，千葉県，習志野市，1996：谷津干潟環境調査報告書．179pp.

森田昌之，1986：東京湾およびその周辺に産する潮間帯腹足類ウミニナ属（*Batillaria*）の比較生物学的観察，1985年度東邦大学理学部生物学科特別問題研究報告書，30pp.

桝本輝樹，2002：東京湾奥部江戸川放水路干潟のマクロベントス群集と群集に与える青潮ならびに淡水放流の影響．2002年度東邦大学大学院理学研究科修士論文，35pp.

大嶋　剛，風呂田利夫，1980：小櫃川河口干潟周辺における底生動物の分布，「千葉県木更津市小櫃川河口干潟の生態学的研究Ⅰ」，（東邦大学理学部海洋生物研究室・千葉県生物学会　共編），45−68.

水産庁，1982：昭和52年度漁場改良復旧基礎調査報告書.

Suzuki, H. and Kikuchi, T., 1990: Spatial distribution and recruitment of pelagic larvae of sand bubbler crab, *Scopimera globosa*. *La mer*, **28**：172-179.

Tamaki, A., Itoh, J., and Kubo, K., 1999 : Distribution of three species of *Nihonotrypaea* (DECAPODA: THALASSINIDAE: CALLIANASSIDAE) in intertidal habi-

tats along an estuary to open-sea gradient in western Kyushu, *Japan. Crustacean Research*, **28**：37−51.

Tamaki, A. and Miyabe, S., 2000 : Larval abundance patterns for three species of *Nihonotrypaea* (DECAPODA: THALASSINIDAE : CALLIANASSIDAE) along an estuary-to-open-sea gradient in western Kyushu, Japan. *Journal of Crustacean Journal*, **20** (Special number 2), 182−191.

質疑応答

灘岡氏　「東工大の灘岡ですが，先生の最後のお話で，ネットワークの話しがありましたよね。非常に魅力的なお話だと思うのですけれども，前にもちょっと個人的には，お聞きしたことがあるのですけれども，東京湾の場合，今の海岸線の状況っていうのは，確か1979年ぐらいにもう確定して，つまり20年以上前に確定しているんですね。だから，干潟の状況，今のようにちょっとしかない状況って言うのは20年以上前から続いている。で，巻き貝のように非常にライフサイクルが長い奴は20数年前に干潟がガンと減った影響が徐々に出てきてて，最近減ってしまうということは良く理解できるんですけれども，アサリのようにせいぜい1年ぐらいのライフサイクルしかないやつは，要するに環境の変化に対して，応答が早いと考えるべきですよね。そうすると20数年前に，そういうふうに，ハビタートがガンと減ったと言うことはね，それでネットワークが壊れてしまったということで，資源の減少を説明しようとすると，何か私にはちょっと理解できないところがあって，なぜその後も更に，東京湾の場合ですね，減ってるのでしょうか。特にあの，日向野さんのデータあたりですと，そんなに極端に減ってないように見えるけれども，例えば湾奥の三番瀬あたりは，あそこは稚貝放流してないですよね。そうすると，要するに天然の状況の所はもっと減ってる訳ですよね，ローカルに見ると。そういうことをどうやって説明したらいいのかなっていうのが，かねがねちょっと疑問に思ってるんですがいかがでしょうか」

風呂田氏「まあ恐らく，それが今回のシンポジウムの一つの大きな全体目的でもないかな。そういう風に直接的に，今の考え方でいった場合に，なぜ干潟減少の影響がじわじわっと効いてくるのかと，それは私にも良く分かりません。まあ一つ考えられるのは，例えば，貧酸素期の長さが最近長くなっている。要するに残った干潟であっても，何とか規模で維持できてたものが，貧酸素期が長くなっていけば結局，幼生分散の阻害要因になって来るわけです。そうすると，現在の状況をみると，青潮がかなり後の方まで，11月くらいまで延びてきていますから，昔に比べて，貧酸素期がかなり長くなっているんじゃないかと，ですから結果的に幼生分散に阻害的になってきて，徐々に効いてくると言うことも考えられますし，干潟域の減少により各ハビタットが孤立化することによって生じる生物的影響，近交とかの影響などにより，結果的にそれが幼生放出量を減少させ，じわじわ効いてくるということも考えられる。ですから，即効性で確かに評価できないというのはあるんですが，そういう見方で，じゃあ各地域のgene-flowとか相互関係が非常に下がったときに，幼生分散を起こした加入過程にどれだけ効いてくるのかということが，かなり大きな研究課題じゃないかなと思います。これはあの，実証しようと言うのはなかなか難しいんで，何かそういう，レベル，シュミレーション的なことでやってみたら面白いんじゃないかと思います。ですからまあ，確かに，一年生のものには急に効かない，だけれど，そういう考え方で行って徐々に効くということも，何かで説明できるだろうとは思ってはいますが，まだ回答はありません」

司　会　「他にどなたかありますでしょうか？」

桃山氏　「山口県水産研究センターの桃山です。東京湾では，絶滅しているのは軟体動物で環形動物とか甲殻類はあまり減ってない。こういうような事例というのは，日本全国の他の干潟でも知られていて，あるいは報告されていて，一般的なこととして受け取っていていいんでしょうか」

風呂田氏「東京湾というか，東側ほど絶滅の速度が速いような気がします。で，西側ほど緩い，特に山口県の方の瀬戸内海とか，豊後水道になるんでしょうか，あの辺は結構色んな干潟生物がいる。だからその辺はまだソースとして，まだ干潟がたくさんあちこちにありますから，幼生分散でネットワーク化が出来てるんじゃないかと思います。まあ，昔は有明もそうだったんだろうと思うんですが，だから，そちらに近いところはやはり，幼生の供給が，絶えずあり，毎年加入が期待できる。そういう形で西の方は，幾つかはまだ，こういうネックワーク機構が残ってる

可能性が高い，ただし東側，特に東京湾のようなところというのは，周りからも隔絶されている環境ですし，中の方は，貧酸素水塊など環境悪化の影響が強くなっているんじゃないかと思います。東京湾で居なくなっているようなものは，他の地域，瀬戸内海も大阪湾側とか伊勢湾とか同じような傾向にありますから，だから，減少のパターンとしてはこれらの海域では同じように思います。まあ実証的なデータはまだありませんが。」

コメンテーターの総括（セッション1）

灘岡氏「東工大の灘岡ですが，午前のセッションの最初の方は干潟の中のローカルな話ということで，後半はもっと大局的な部分がかかった話だと思いますが，干潟の中の話も，観測方法そのものをどうしていくかという課題も非常に大きいのかなという気がしてます。それはそれで，モニタリングの方法をもっと工夫しながら，且つ例えば，干潟の上っていうのは，私の専門の例えば，物理環境の部分ではですね，非常に面白いというか，まあ，逆に難しいところがあって，例えば，地形データそのものも，難しいですよね。海図でどの程度表現できてるかというと，ほとんど出来て無くて，もの凄くそのアンデュレーションがあって，そういうものが，流れをもの凄く支配していて，さっき，山本さんの時にも質問させて頂きましたけども，一点で測るということが，ちょっと限界があるようなものが結構あったりする。そうすると地形そのものをどういうふうに評価するか，私自身は，リモートセンシングとかですね，まあ航空機リモセン，要するにレーダーを使ったような奴とかの可能性を，今，考えてますけれども，それで，流動場もそうとう支配するはずなんですね。そういったことをやっていかないと，割と観測そのものも，新しい展開が開けていかないのかなというふうに個人的には考えていますし，そういうことをやって更に，干潟の中と干潟の外との関係をつないでいくという研究が重要なのかなというふうに考えています。それと，ローカルには，あの伊藤さんが言われたような，微環境ですか，境界層の観測とかですね，そういうことも重要ですし，その中で例えば，幼生がどういうふうに着底するのかですね，そういったことも一緒にやれるような観測手法をですね，そういうことを考えていくべきかなあと考えてます。それと後半のもっと全体的な話は，先ほどの私の質問の延長なんですけども，さっきは東京湾のことを申し上げましたが，例えば有明海を見てもですね，有明海の場合は，まだ干潟が随分残っている訳ですね，で，まだ確か日本全体の40%近くが有明海には残っている。にも関わらず，有明海全体で見ると，アサリの生産量は1978年とか9年をピークにして，もう単純にもうダーッと減ってきてる訳ですね，あれをどうやって説明するのかと　で，しかももっとローカルに見ると，熊本県側は割と早く減り始めて，福岡県側ですかね，あれは1983年ぐらいにどういう訳かピークが出たりしてますね。そういうことをどうやって説明するんだろうということは，非常に興味のあるところです。それであの，もう一度，一般論に帰って，その幼生期，浮遊幼生期の段階が一番，周りの環境の影響を受けやすいということで，それが悪くなったんじゃないかというお話があります。それと，干潟の量は同じでも，質が変わってるかもしれませんよね。例えば，シルト分がうんと増えたということがあるのかもしれない，要するにハビタートの質が変わってきてるかもしれない　そういうふうなことを歴史，例えば東京湾の場合，その20年間，量は変わらないかもしれないけども，質がほんとに変わったのか，あるいは，その水質，貧酸素水塊がほんとに増えたのか，あるいは硫化水素がどうなのかという，そこら辺の具体的なサイドスペシフィックな議論をもっと詰めないといけないのか，それをやって，且つ，比較水域論をぜひやって欲しいと思います。それはだから，東京湾，有明，いろいろあると思いますが，比較水域論的な話を，ちゃんとデータを比較しながらやる必要があるんじゃないでしょうか。それと，あるその特定の，東京湾なら東京湾の中でも，干潟によって違いがまたあるわけですね，有明のさっきのように。そういったことが何故かっていうのをもうちょっと突き詰めた議論をしていければいいのかなというふうに期待しています。以上です」

日野氏「東京大学の日野でございます。今日の大変素晴らしいご講演を拝聴しておりまして，私なんかこういう経験が非常に浅いものだという観を持ったのですけれども，私も8年ほど，浜名湖の水産実験所に勤務しておりました時に，アサリをいじったことを交えてお話をさせていただきたいと思いますが，最初に浜口さんから，アサリ，いわゆる多産型の資源というものは，初期減耗の影響を受け，その後の加入に大変大きな影響を与えるというお話がございました。そういう意味で今回，このシンポジウムがあって，浮遊期，特に初期生態ってところに次のセッションで焦点をおかれたということに経緯がある

という感じがします。特にあの風呂田先生のお話で，ホソウミニナの，まあ最近の言葉で言うと生存戦略というのでしょうか，直達発生的なものが非常に有利であるというお話もあったように，生活史の特徴というものが凄く関係するかなという感じが致します。それから，灘岡先生が今，おっしゃったことと同じなのですけれども，私，アサリの減耗要因というのは，日本全国で，ほとんど同時にアサリが採れなくなってるということに惑わされているのかもしれませんけど，海域毎に減耗特性って，もの凄く違っているのだろうという気が致します。これはあの，浜名湖のように，たかだか10キロメーターぐらいの南北の所に，河川の影響の強いところから，それから，遠州灘そのものというような環境もあるところで研究をしておりますと，そういう観を強くするんですけれども，おそらく，まあ，その比較海域論というようなものも重要な認知の仕方になろうかというふうに思います。海域の方法と致しまして，生物によってもその海域によって着底時期がずいぶん違うのではないか，それから年によってずいぶん違うんじゃないかっていう感じが致します。特に今年なんかはアサリの着底が凄く遅れたということも浜名湖では，ございました。そういうことと，それから，その時期の環境要因というものも重ね合わせてみる必要があろうかというふうに思います。それから，環境型のアプローチの仕方として，非常に謎になっている，そういうところは，アサリの着底期の環境データが，ほとんど無いということですね。みなさんお感じになっていることだと思いますけれども，着底期と定義をしても，おそらく，ベントス関係の方は，1ミリでふるったものを考えられるとか，0.5ミリでふるったものを考えられるとか，いうことがあろうかと思います。これはあの，菊地先生に前に伺ったことがあるんですけど，1ミリのデータと0.5ミリのデータでは，全く違うベントスの生物層が描けるという恐ろしいお話も伺ったことはございますけれども，特にアサリの場合で，初期稚貝，初期稚貝っていうのは皆，アサリで，ふるいでふるった仕事が大半だと思います。ま，そういう意味で，浜口さんが，蛍光抗体をお作りになって，それを我々に無償でご提供くださってるというようなことで，大変ありがたい，これからそういう方面の研究も進んでいくんだろうという風に思いますけれども，そういう初期生態での環境とのデータの蓄積が必要であろうかというふうに思います。それから，浜名湖などでは，塩分の変化って非常に大きいです。今日は塩分の話はあまり出てこなかったようですけれども，塩分との関係で色んなものを取り扱って頂きたいし，それからメソッドの方でいいますと，PHとか，ORBというのは，干潟の仕事をしてますと，一体どうやって測るのがほんとなのかなって，いつも疑問に思うんです。採泥機で水を採って，海底の水を採って，泥を採って参りますと，必ず，低層水と泥との表面は混ざってる訳で，例えば，俺は1センチ測った，2センチ測ったっておっしゃるけれども，水の中にある時には，ほんとにそうなのか，分かりはしない訳ですね。表面から電極をつっこめば，当然，撹乱が起こるというようなことなんですね。ガラス電極で，泥の中のあのもの凄い懸濁体のものを測るっていうのは，ほんとに正しいのかというような検証もなされておりませんし，ORBに至っては，何ミリボルトっていうスタンダードを基に検証されている方は，ほとんどいらっしゃらないと思います。実は，それはやらなきゃいけない話なのですけれども，みなさん，メーターの数字をそのまま信じていらっしゃるのが，現状だと思います。そういう意味で，環境データの測定自体に，スタンダードメソッドというのを，やはり，アサリ研究者の間で，共通する必要はあろうかというふうに思います。それから，メソッドという意味ではまさに先ほどの話と重複する部分はございますけれども，何ミリのサイズ，あるいは，何日目のサイズ，どういうステージのデータかというようなこと，それから，実験をなさるのでしたら，履歴ですね，親の履歴でありますとか，そんなものもキチンとスタンダード化しなければいけないであろうかというふうに思います。で，伊藤先生の方からは，餌料環境ということで，お話がございました。これは非常に重要なケースというのは当然，あると思いますけれども，特に着底してからは，先ほど，鳥羽さんからのご指摘もありましたけれども，底層からの巻き上げというものが，かなり供給されているんだと思います。ただ最近伺った話では，付着性の珪藻っていうのは，粘液質が非常に多くて，餌料になりにくいんだっていうような恐ろしいお話も伺ったことがございます。そういった研究を愛知水試と滋賀大学でし

たか，ちょっと記憶にないですけど，滋賀大学の先生がおやりになっていたようなこともありますので，珪藻なら何でもいいというんじゃなくて，種毎の，あるいはそのグループ毎での餌料効果というようなことに着目していかなければいけないのではないだろうかと，いうふうに思います。それから，これは次のセッションでの指摘が出てくるかもしれませんけども，生態との関係ということで見ますと，移動というものは凄く重要だと思うんですよね。浮遊期の移動っていうのは，前からよく話題になっていることでございますけれども，着底後の移動っていうものが随分，空白になっているのではないかということ。ま，特に1ミリ以下のサイズの時期っていうのは，全く空白になっているということで，これはやはり，浜口さんのツールであるところの蛍光抗体等を使った研究っていうのが行われなきゃいけないというふうに思います。ま，とにかく陸上生態系の科学の方とよく，私，専門が，水域保全学という専門におりますので，陸の保全学の方と議論になるのですけれども，陸の方っていうのは，目に見えるもの，それから，生活史が非常に永い，世代，ジェネレーションタイプが永いものと考えていらっしゃる。で，我々の話と凄くこう，かみ合わないところがあると思うのですけれども，そういう意味で，予算獲得であるとか，行政の方と研究者の間での認識のギャップってもの凄く大きいと思います。そういうところを是非，マネージメント，組織のマネージメント等に移られた方と一緒になって，こういうシンポジウムの成果を還元していきたいと，そういうふうに思っています。以上です。

司　会「どうもありがとうございました。もう，お二人の先生方が，全体の，漁場の環境というのが，どういうふうに以前に比べて変わっているのかと，それから環境，アサリ漁場として評価する時の環境をモニターするというラインが，どの項目をどういう風に測らなきゃいけないのかと，例えば，先ほどの今までのお話で推測しますと，生活段階毎に環境に対する耐性が違いますよと，それから餌の必要性というか，どのような餌に頼っているかっていうので，例えば，アサリが小さいときは，表層に近い単体の珪藻のようなものがいいだろうと，それから，大きくなると水中の餌を捕っているだろうというようなことになってくると，生活段階毎に，同じ項目を測っていては，評価できないということもあると思うんですね。その辺のところを，何をどういう風に測れば，その場の環境が評価できるかというところを，やはり，ちゃんと詰めておかないと，みなさん，それぞれ同じようなことを思考されていても，スタンダードメソッドっておっしゃいましたけれども，その辺のそのデータの互換性あるいは解釈の互換性がなくなるということで，その辺のところを午後の総合討論で議論して頂ければというふうに思います。それから，今日は漁協の方もお見えだと思いますので，午前中は時間がございませんでしたけれども，午後の総合討論の中でも，現場として，こういうふうな意見，要望あるいはこういう認識ですというようなことが，ありましたら，そういうご意見も出して頂ければと思いますので，よろしくお願い致します。」

東京湾におけるアサリ浮遊幼生の動態

粕谷　智之*

Larval abundance, distribution, and size composition of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay

Tomoyuki KASUYA*

Abstract

As the first step in clarifying the larval transport processes of *R. philippinarum* in Tokyo Bay, short-term spatial and temporal variations in abundance and size-frequency distribution of *R. philippinarum* planktonic larvae were investigated. To do so, measurements were taken at 65 stations throughout the Tokyo Bay area on August 2, 6, and 10 in 2001. The size-frequency distributions of the larvae indicated that the growth rate (shell length) was 15-18μm d^{-1} during the summer in the bay. Based on the large numbers of small D-shaped larvae found shortly after hatching in waters around the Banzu, Futtu, and Sanmaizu-Haneda areas, it can be deduced that the spawning populations in these areas probably contribute greatly to the larval supply in the bay. Small larvae were also found in abundance around both the Kawasaki-Yokohama and Ichihara port areas, suggesting that these regions also play an important role in larval supply and recurrence areas into Tokyo Bay. In addition, the abundant spatial distribution variations of the cohort, observed on August 2 and 6, demonstrated that larval populations were concentrated within the central area of the bay, where a distinct upwelling front induced by strong southwestward wind was found on August 6. These findings indicate that physical processes, such as divergence and convergence in the frontal area of the bay, seem to greatly influence the advection of *R. philippinarum* planktonic larvae in the bay.

Key word: bivalves, *R. philippinarum*, larva, reproduction, larval transport

近年，アサリの資源量は全国的に激減しており，その主な原因として，東京湾では，アサリの主要な生息場所である干潟や浅場の埋め立てによる消失が挙げられる。高度に開発が進んだ東京湾においてアサリの資源を回復させるには，生息場所の造成や資源保護区域の設定など，自然再生および環境保全事業が有効と考えられるが，それには孵化後しばらくの間浮遊生活を送るアサリの幼生が何処で生まれ，そして何処に行くのかをしっかりと把握する必要がある。二枚貝類の幼生，特に浮遊期の幼生については同定が困難であることから，野外におけるアサリの初期生態に関する知見は極めて少ない。本報では，運輸施設整備事業団，国土技術政策総合研究所，そして水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の計3機関による共同研究によって行われた「夏季東京湾広域アサリ浮遊幼生調査」の結果を基に，東京湾における幼生の発生場所や成長速度，浮遊期間，そして幼生の時空間的な分布の変動要因について紹介する。

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

* 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部海洋環境研究室（運輸施設整備事業団　派遣研究員）
(National Institute for Land and Infrastructure Management, 3-1-1 Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan)

材料と方法

観測方法

東京湾は富津から観音崎を結んだ線を境にして北側を内湾，南側を外湾とし，区別して扱われることが多いが，本研究で言う東京湾とは内湾を指す(**Fig. 1**)。

観測は東京湾に約3.5㎞の間隔で設けた65測点で，2001年8月2，6，10日の日程で合計3回行った（**Fig. 1**)。

全ての観測を日中5時間以内に行えるように，65測点を8区画に分け，それぞれ1隻の調査船を用いて全区画同時に観測を行った。試料の採集は採水法で行った。夏季の東京湾では，底層は広い範囲で貧酸素状態となることから，本研究では水深12m以浅を採集の対象とした。採水は水深0～4, 4～8, 8～12mの3層で行い，観測点の水深に応じて採水層の数を変更した。モーターポンプに繋がった吸水ホースの先端に錘を付け，吸い込み口を所定の採水層の上端から下端まで上下させながら200リットルの海水を汲み上げ，直ちに目合100㎛のハンドネットで濾過することによって幼生を捕集した。アサリの浮遊幼生は殻長に対して70%の目合のネットを通り抜けてしまう可能性があることから （Kasuyaら，2004)，殻長100㎛程度のより小さな幼生を捕集するために，濾過した海水をさらに目合50㎛のハンドネットで濾過した。採集したサンプルは腐らぬように直ちにクーラーボックスに入れて氷冷した。

全測点での観測を終えた後，目合100㎛のネットで得たサンプルについては，地上において分割器を用いて4分割し，2本はクーラーボックスに入れて氷冷して持ち帰った後，-50℃以下で凍結保存，残り2本については中性ホルマリンが5%濃度となるように加えて固定保存した。凍結およびホルマリン固定した分割サンプルの内，それぞれ1本ずつを分析用，他を予備とした。目合50㎛のネットで採集したサンプルについてはクーラーボックスに入れて氷冷して持ち帰った後，-50℃以下で凍結保存した。

環境項目として，水温と塩分をアレック電子製STD（AST-500） によって測定した。溶存酸素量についてはYSI社製YSI-58型を用いて測定した。観測中，肉食性の動物プランクトンである鉢クラゲ類のミズクラゲ*Aurelia aurita*，およびクシクラゲ類のカブトクラゲ*Bolinopsis mikado* が確認された場合には，2 m×2 mの範囲内（4m^{-2}） にいる個体数を船上から目視で計数した。

アサリ浮遊幼生の分類

本研究では，アサリ幼生の分類は殻を有することで採集時に破壊されにくく，個々の区別が容易なベリジャー期以降の幼生，すなわち，D型および殻頂期幼生，そして変態期幼生を対象として行った。幼生の分類には凍結保存した50㎛および100㎛ネットサンプルを用いた。免疫学的手法 （浜口, 1999）によって処理したサンプル中の二枚貝類幼生を蛍光顕微鏡下で観察し，蛍光を発する個体を成長段階に分けて計数した。変態期の幼生については，殻頂期の幼生と形態的に大きな違いは無いことから殻頂期幼生として扱った。免疫学的手法によるアサリ幼生の分類精度はおよそ95%である（浜口, 1999)。東京湾にはアサリの近縁種であるイヨスダレ*Paphia undulata*が出現し（桑原, 1990)，アサリ特異抗体は同種の幼生に対して反応する（浜口, 私信)。本研究では，殻頂期幼生については田中（1982）の分類データを基に形態による観察を併せて行い，蛍光を発するD型幼生で形態上アサリ幼生とは異なる可能性がある個体については，PCR法による遺伝子解析によって最終的な判別をした。アサリと判定された幼生について最大100個体を無作為に選んで，その殻長を10㎛の単位まで計測した。得られたアサリ幼生の個体数については，50㎛ネットサンプルについては5倍，100㎛ネットサンプルについては20倍することによって1 m^{-3}当たりの出現密度に換算した。

アサリ幼生以外の動物プランクトンについては16測点を対象として（**Fig. 1**)，ホルマリンで固定した100㎛ネットサンプルを用いて実体顕微鏡下で種ごとに計数した。渦鞭毛藻類の夜光虫 *Noctiluca scintillans* は従属栄養生物であることから，本研究では動物プランクトンとして計数した。

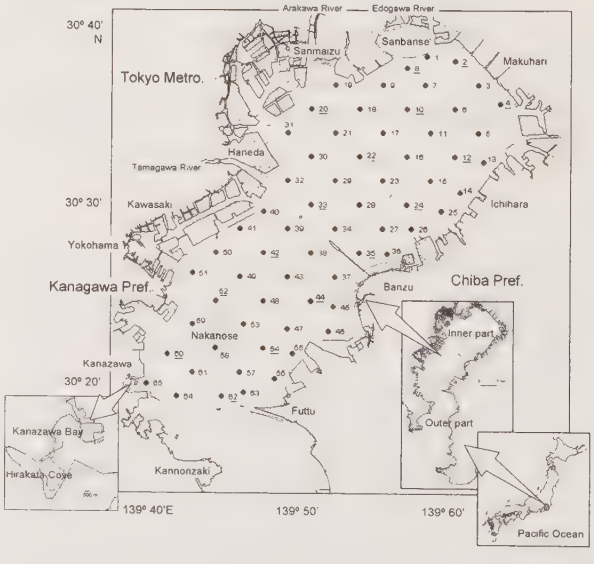


Fig. 1. Tokyo Bay map: the locations of the sampling stations are shown by the solid circles. Eight boats were used to collect data. Each boat was assigned a division of stations, as indicated by the dashed line. The abundance of other zooplankters was measured at the underlined 16 stations. The main habitats of *Ruditapes philippinarum* in the bay are shaded. The dotted line defines the lower and upper parts of Tokyo Bay.

結　　果

水深0, 4, 8 mにおける海況の水平構造をFig. 2に示す。8月2, 6, 10日ともに，全観測層を概観すると水温は21～28℃，塩分は17～33の範囲であった。8月6日の海況は特徴的で，水温21～25℃，塩分30～33の低温·高塩分の水塊が千葉側に沿って湾口から湾奥まで分布した。これは8月2日から6日にかけて吹いた平均風速6.5 ms^{-1}の強い北風によって外湾の海水が千葉側に沿って底層から流入するとともに，千葉側で湧昇したため，底層にあった低温·高塩分の海水が表面に現れたものと解釈できる。

幼生はほぼすべての観測点から採集された（Fig. 3）。D型幼生は8月2日と10日に羽田～三枚洲，盤洲や富津周辺の海域において大量に出現し，最大出現密度はそれぞれ2,510個体m^{-3}，および1,690個体m^{-3}に達した。8月6日にはD型幼生の高密度（1,235個体m^{-3}）の分布は中ノ瀬付近のみで観察された。一方，殻頂期幼生は8月6日に羽田や盤洲周辺，そして湾央部付近の海域において非常に多く出現し，最大出現密度は2,725個体m^{-3}に達した。殻頂期幼生は8月2日にも盤洲周辺の海域に1,525個体m^{-3}の出現密度で分布したが，8月10日には最大出現密度405個体m^{-3}まで激減した。

採集された幼生の殻長は90～240μmの範囲であった（Fig. 4）。D型幼生の殻長は90～130μm，殻頂期幼生の殻長は130～240μmであった。殻長組成は1～2峰型を示し，ピークは8月2日には殻長110および160μmに，8月6日には殻長130および170～180μmに現れた。8月10日の殻長のピークは120μmであった。

殻長100μm以下のD型幼生の出現密度を抽出し，その水平分布を求めた（Fig. 5）。8月2日および10日には，殻長100μm以下のD型幼生は三枚洲～羽田，盤洲周辺の海域に500個体 m^3 以上の高い出現密度で分布した。また，川崎～横浜や市原，富津周辺の海域にも200個体m^{-3} 以上の出現密度で分布した。8月6日には，小型のD型幼生は中ノ瀬周辺の海域に900個体 m^3 以上の密度で分布した。

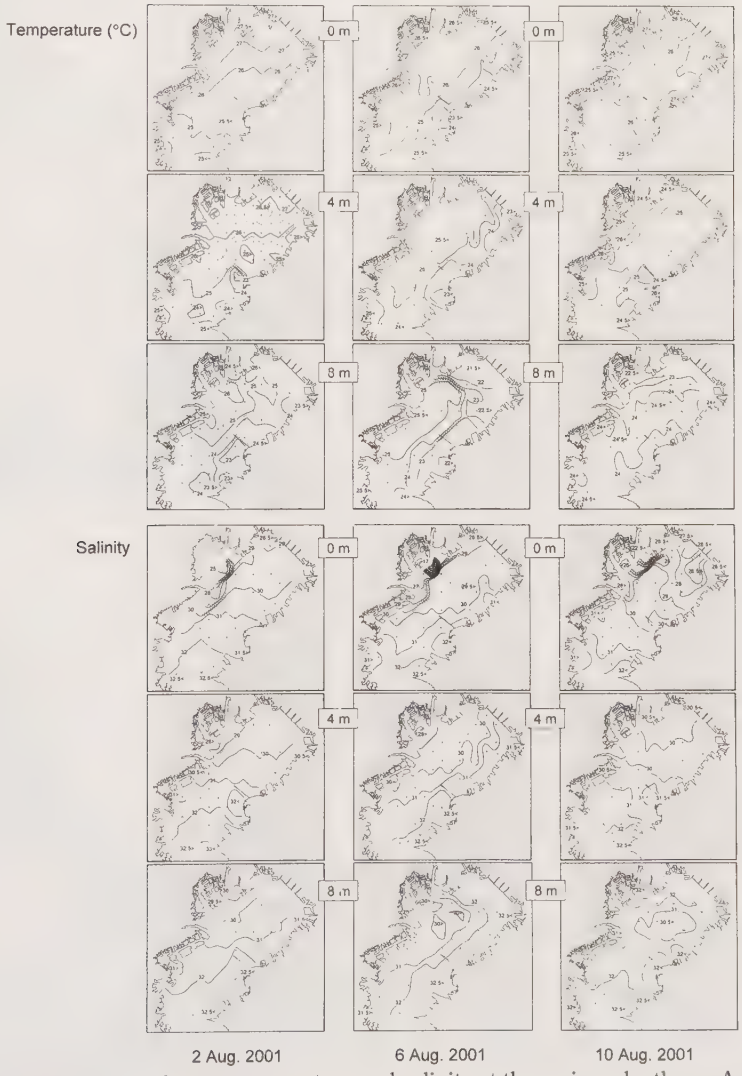


Fig. 2. Horizontal distributions of water temperature and salinity at the various depths on August 2, 6, and 10, 2001.

考　　察

幼生の発生場所

殻長100μm前後のD型幼生は卵として放出されてから2日程度であることから（鳥羽，1987），生まれた場所からそれほど分散していないと思われる。事実，殻長100μm以下の幼生が多く分布した羽田～三枚洲や盤洲および富津周辺の海域は，アサリ成貝の生息域とほぼ一致する。従って，羽田～三枚洲，盤洲，そして富津周辺の海域に加えて，小型幼生が多数分布した川崎～横浜や市原，そして中ノ瀬周辺の海域でアサリの幼生が発生した可能性がある。

盤洲や富津では干潟や浅場が自然に近い状態で残っており，アサリの成貝の資源量も大きいことから（鳥羽，2002），多量の幼生が発生していると考えられる。三枚洲～羽田周辺の海域については，多摩川河口域（桑原，1990）や三枚洲周辺（風呂田，1997）にアサリが生息している。この海域におけるアサリの資源量に関する定量的な研究は極めて少ないが，D型幼生の出現密度は盤洲や富津周辺の海域に匹敵していたことから，三枚洲～羽田周辺海域のアサリの産卵個体群は東京湾における幼生の供給に大きく寄与していると考えられる。

川崎～横浜および市原周辺の海域は港湾域であり，鉛直護岸で囲まれているが，市原周辺の地先の海底には砂が堆積しており，そこにはアサリが生息している（鳥羽，私信）。また，横浜周辺の海域でもアサリが生息していることから（桑原，1990），港湾域のように水深のある場所でも，砂の堆積などのアサリの生息条件が整えば，アサリ幼生の発生場所および着底場所として機能することができると推定される。

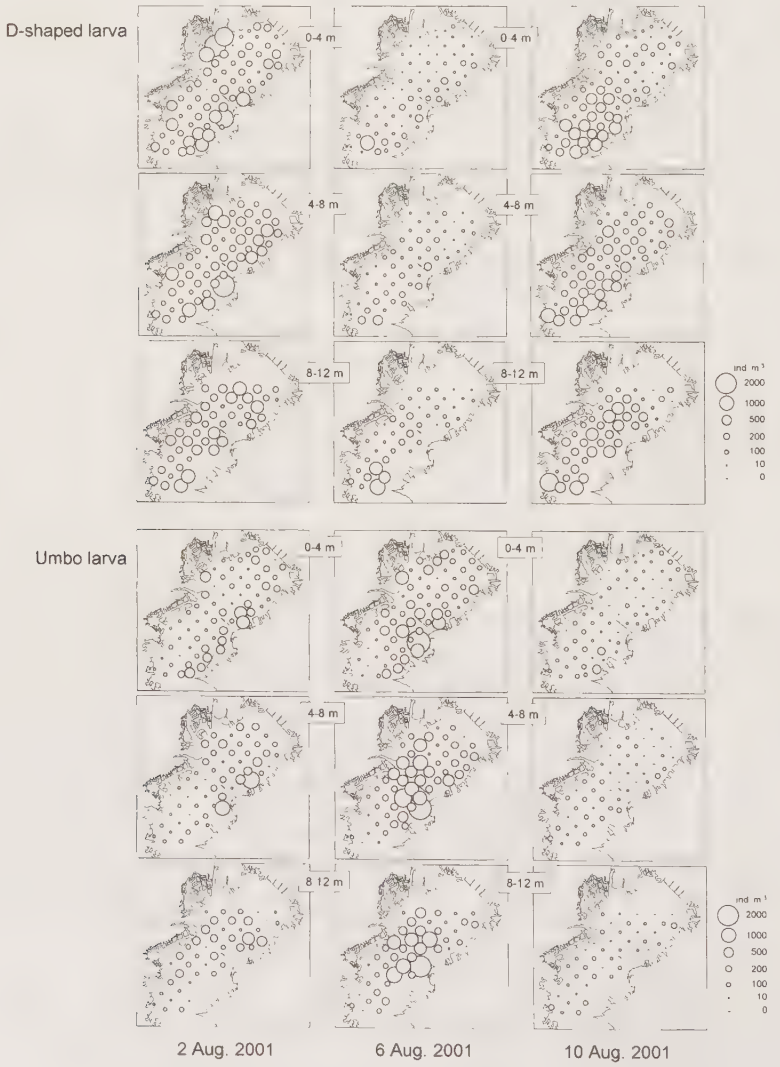


Fig. 3. Horizontal distribution of the density of D-shaped and umbo larvae at respective depth layers on August 2, 6, and 10, 2001. Densities are proportional to the area of the circle.

中ノ瀬は砂地からなる浅瀬で，水深は10～20 mである。中ノ瀬周辺の海域には8月6日に小型のD型幼生が高密度に分布したが，中ノ瀬におけるアサリの分布に関する報告はこれまで得られていない。一般に東京湾では外湾水は千葉県側の底層から流入し，内湾水は神奈川県側の上層から流出すると言われている。観測期間中の東京湾では，8月2日から6日にかけて吹いた強い北風によってより多くの外湾水が流入するとともに，8月6日には湧昇および沈降にともなう対流によって中ノ瀬から富津周辺にかけて同一の水塊が存在していたと考えられる（粕谷，未発表）。加えて，中ノ瀬周辺の海域の流速は湾内の他の海域と比べて速いことから（村上·森川，1988），中ノ瀬周辺で採集された高密度のD型幼生に関しては，富津周辺の海域で産まれた幼生が中ノ瀬周辺の海域へ短時間で輸送された可能性がある。

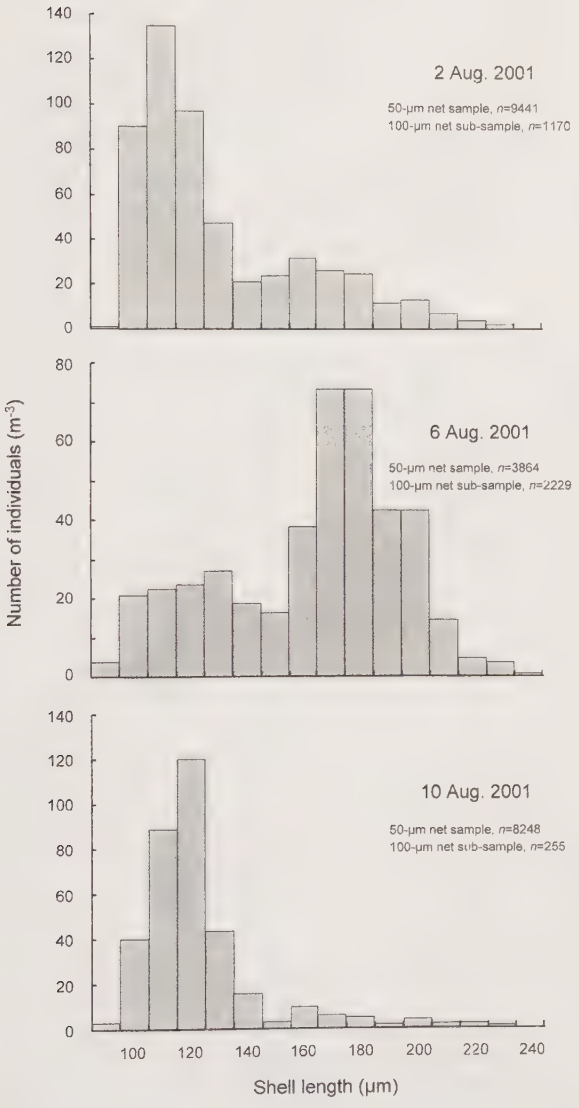


Fig. 4. Size-frequency distributions of *Ruditapes philippinarum* larvae on August 2, 6, and 10, 2001. The abundance of each size class was obtained by converting the number of measured larvae of 50- and 100-μm net samples at the respective stations into a density, and then combining them. The data was pooled from all stations.

三番瀬は盤洲と並びアサリの資源量が多い（鳥羽，2002）。金沢湾周辺には人工海浜が造成されており，そこに多くのアサリが生息している（新保ら，1999）。また，金沢湾に隣接する平潟湾にも非常に多くのアサリが生息している（越川ら，1999）。これら周辺の海域からは多くの幼生が採捕されることが予想されたが，その出現量は少なかった。三番瀬では青潮や江戸川からの淡水の大量出水によるアサリの大量斃死が夏から秋にかけてしばしば発生する（柿野，1992）。金沢湾では4～5月の連休を中心に多くの観光客によって潮干狩りが行われ，その結果，殻長20㎜以上の成熟した個体に対して非常に高い漁獲圧が掛かる（工藤，2000）。突発的な生息環境の悪化や過度の漁獲による成熟個体の激減が三番瀬や金沢湾周辺海域における幼生の発生量に影響を及ぼしている可能性がある。対照的に，平潟湾ではアサリの成熟個体の出現量は周年を通して安定している（越川ら，1999）。平潟湾は金沢湾内の野島海岸への幼生の供給源として考えられているが（越川ら，1999），さらに沖合の東京湾への幼生供給の役割については，幼生の沖合への輸送に寄与する流れなどのプロセスを含めて今後さらに検討が必要である。

幼生の殻長成長速度，発生日および浮遊期間の推定

幼生は8月2日には殻長110μmにピークを持つ殻長100～120μmの個体群が最も多く出現し，8月6日には殻長170～180μmにピークを持つ殻長160～200μmの個体群が多く出現した（**Fig. 4**）。出現密度および殻長の経時変化から，この二つの個体群を同じコホートと判断した。これらの個体群の殻長の変化から，夏季の東京湾における幼生の殻長成長速度は，1日当たり15～18μmと推定された。また，出現密度の変化から個体群密度の減少率は4日間でおよそ16%と推定された。

殻長成長速度から幼生が生まれた日を逆算することができる。アサリの卵は水温20℃の条件下では，受精後2日程度で殻長100μm前後のD型幼生となることから（鳥羽，1987），8月2日に優占した殻長100～120μmの幼生は，D型幼生となってから0～2日，受精後2～4日経過している。従って，これらの幼生が卵として放出されたのは7月30日前後である。

今回の観測で採集された幼生の最大殻長は240μmであり，殻長210μm以上の幼生の出現頻度は低かった（**Fig. 4**）。室内飼育実験におけるアサリ幼生の着底時の殻長はおよそ185～230μmであることから（鳥羽，1987），東京湾においても，殻長が210μm前後に達した幼生は着底生活に移

行すると思われる。上述のように，幼生の殻長成長速度は15～18μm d^{-1}と推定されることから，8月6日に最も多く出現した殻長160～200μmの個体群は8月10日には殻長210μm以上にまで成長することが可能と考えられる。同様に，8月6日に出現した殻長130～150μmの個体群についても，8月10日までには殻長210μm前後に達すると思われる。従って，8月6日に出現した殻頂期幼生の多くは8月10日までには着底生活に移行したと考えられる。この推察は8月10日に殻頂期幼生が非常に少なかったことと一致する。8月6日の殻長160～200μmの個体群（すなわち，8月2日に出現した殻長100～120μmのD型幼生）は7月30日前後に産まれたと考えられることから（上記参照），夏季の東京湾におけるアサリ幼生の浮遊期間は10日程度と予想される。

幼生の分布と環境要因との関係

アサリ浮遊幼生は東京湾の全域から採集されたことから，浮遊している間に湾内に広範囲に拡散することが明らかとなった。東京湾における幼生の出現密度には水深0～12mの間で大きな違いは見られなかった（Fig. 3）。瀬戸内海におけるアサリ浮遊幼生は，降雨による塩分の低下が起こった場合，塩分30の水塊が分布する水深層に集中する（浜口, 私信）。三河湾ではアサリ浮遊幼生は水深3m付近に多く分布し，能動的に遊泳していることが示唆される（鈴木ら, 2002）。観測期間中，東京湾では密度躍層は8～15mの水深層で観察されたことから，東京湾におけるアサリ幼生は混合層内を鉛直的に受動的に移動している可能性がある。

同一の個体群である「8月2日に出現した殻長110μmの個体群」と，「8月6日に出現した殻長170～180μmの個体群」の水平分布を比較した（Fig. 6）。幼生の高密度域は8月2日には三枚洲～羽田や盤洲周辺で認められたが，8月6日には顕著なフロントが存在する湾中央部で認められた。8月6日に観察されたフロントは，8月2日から6日にかけて吹いた強い北風（平均風速6.5ms^{-1}）によって引き起こされた湧昇によるものと考えられる。8月2日から6日にかけて，海水は千葉県側の観測点36～37～55～56に沿った海域付近において湧昇および発散し，神奈川県側の観測点30～40～50に沿った海域付近で沈降および収束した後，千葉県側へ移動したと考えられる（粕谷, 未発表）。羽田から三枚洲，横浜周辺で生まれた幼生は，この流れによって湾中央部に移動したと思われる。盤洲や市原で

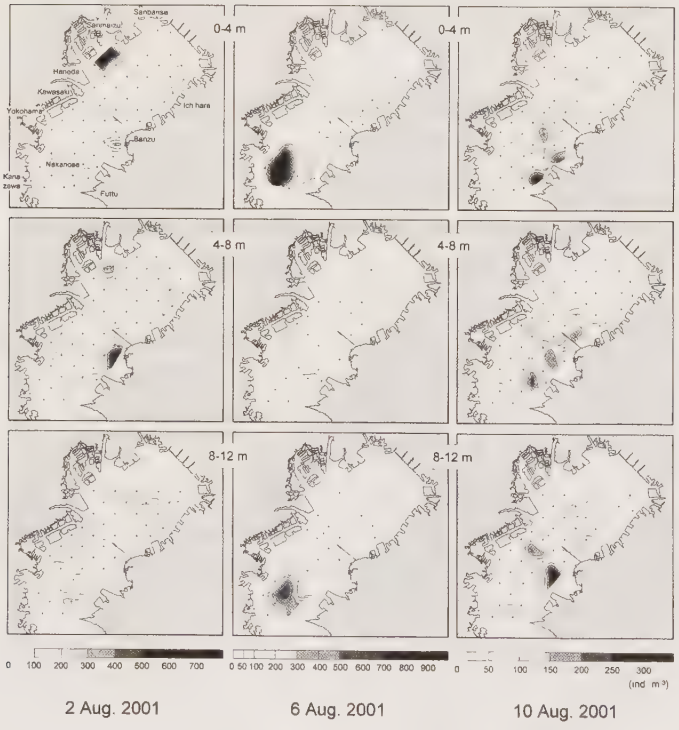


Fig. 5. Horizontal distribution of the abundance of D-shaped larvae of≦100-μm sell length (SL) at respective depth layers on August 2, 6, and 10, 2001. The contour is plotted according to density of the station at which the SL data was obtained from more than 15 D-shaped larvae.

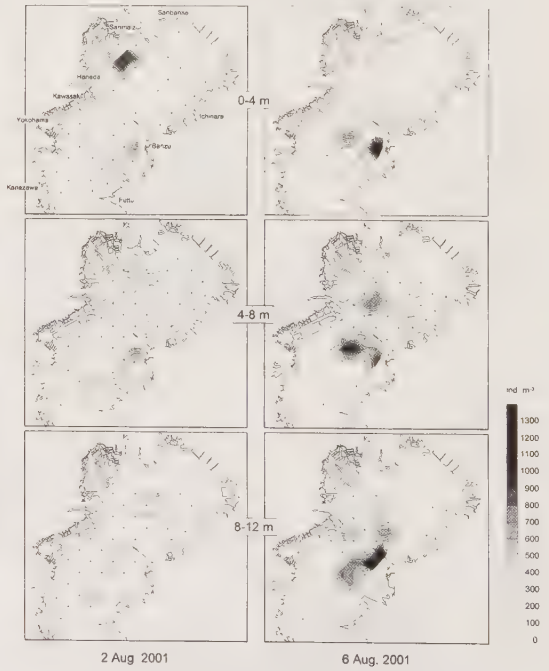


Fig. 6. Horizontal distribution of the abundance of D-shaped larvae of 110-μm sell length (SL) size class on August 2 and umbo larvae of 170-180-μm SL size classes on August 6 at respective depth layers. The contour is plotted according to density of the station at which the SL data was obtained from more than 15 individuals for a D-shaped larva and 7 individuals for a umbo larva, because the SL of umbo larvae was measured from a 100-μm net sub-sample.

生まれた幼生についても，同様の収束·発散機構が作用していると考えられる。

観測期間中，東京湾の水深10mにおける溶存酸素量は湾奥の千葉県側（三番瀬から幕張，市原周辺の海域）を中心として4.5mg O_2 l^{-1}以下であった。市原周辺にある観測点では水深8～12m層における幼生の出現密度は他の観測点よりも低い傾向が見られた（**Fig. 3**）。しかし，これらの観測点では，貧酸素の状態にない水深4m以浅の層でも幼生の出現密度は低いことから，この時期に見られた程度の貧酸素水塊（4.5mg O_2 l^{-1}以下）の幼生の分布に対する影響は不明である。

アサリ幼生を飼育する際には，餌として直径が6μm程度の植物プランクトン*Pavlova lutheri*を与えていることから（鳥羽，1992），天然海域におけるアサリの幼生も同様の大きさの植物プランクトンを捕食していると考えられる。観測を行った期間の東京湾における小型の植物プランクトンの出現量については不明である　しかし，本研究で明らかとなったアサリ浮遊幼生の殻長成長速度（15～18μm d^{-1}）は，鳥羽（1992）や荒川·黒田（2003）が飼育実験から得た成長速度（水温27℃において7.3～10.1μm d^{-1}）と比較して非常に高いことから，観測期間中の東京湾におけるアサリ幼生は，餌量による成長の制限を受けていないと思われる。

今回の調査では，肉食性の動物プランクトンとしては，夜光虫，カイアシ類の*Oncaea media*，*Labidocera bipinnata*，多毛類の幼生，ヤムシ類の*Sagitta crassa*，そしてミズクラゲなどが観察された。この中で，*Oncaea, Labidocera*，夜光虫およびミズクラゲの出現密度とアサリ浮遊幼生の出現密度の間に負の相関が見られた（**Fig. 7**）。東京湾では夜光虫とミズクラゲがしばしば大量に出現する。夜光虫は潮目などに濃集してしばしば赤潮現象を呈することが知られており，このような場合には，密度は

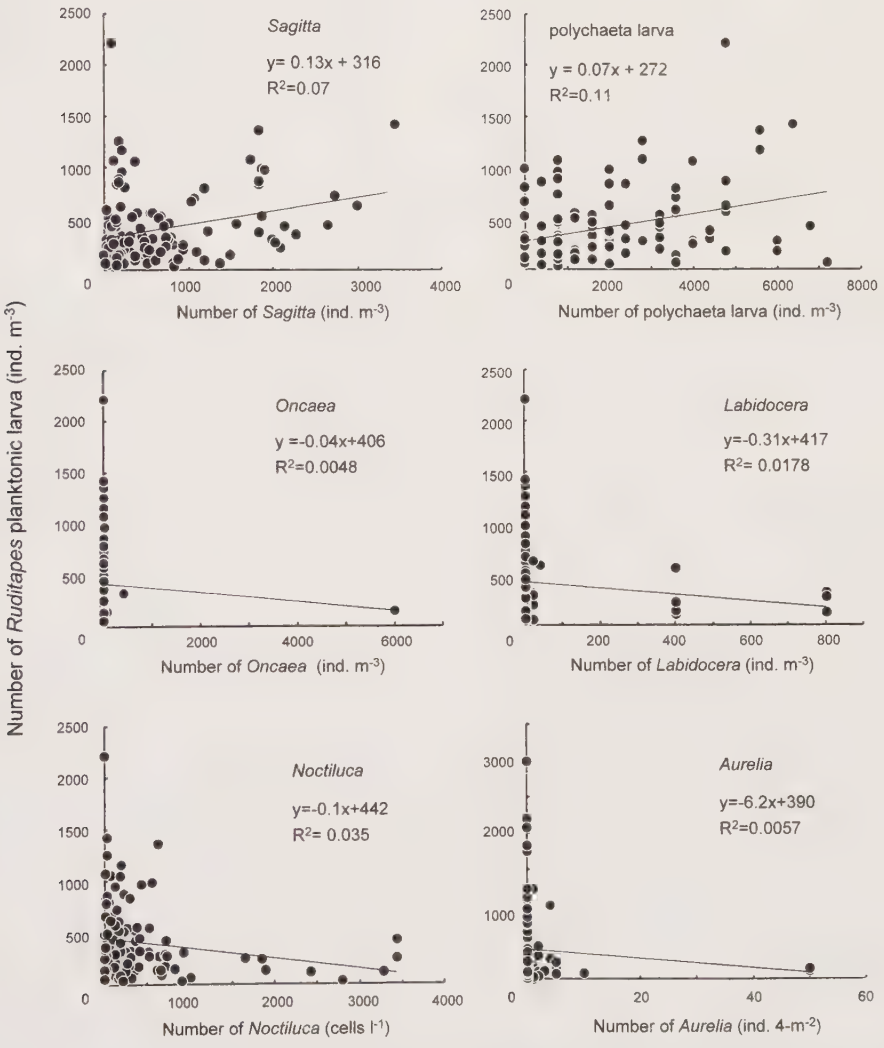


Fig. 7. Relationships between the abundance of *Ruditapes philippinarum* planktonic larvae and those of *Noctiluca scintillans, Aurelia aurita, Oncaea, Labidocera*, polychaete larvae, and *Sagitta crassa*. The abundances of *Oncaea* and *Labidocera* include the numbers of copepodites.

1リットルあたり数万から数10万細胞に達することがある（村野，1980）。ミズクラゲの出現密度は54個体m^{-2}以上に達し（野村·石丸，1998），火力発電所の冷却用海水の取水障害が起こるようなときには，これ以上の密度になることも考えられる。夜光虫のアサリ幼生に対する捕食速度については知見が得られていないが，食胞の中に二枚貝の幼生を含む個体が天然海域で観察されている（浜口，私信）。Omoriら（1995）は大量発生したミズクラゲ個体群の動物プランクトンに対する捕食圧を1日あたり32%と見積もっている。本研究ではミズクラゲの表層の出現数に関する情報しか得られていないため，ミズクラゲ個体群のアサリ幼生に対する捕食圧を正確に見積もることはできない。しかしながら，夜光虫，ミズクラゲともに高密度の個体群がパッチ状に分布することから，両種による捕食圧は幼生の出現密度に対して局所的に作用している可能性がある。

謝　辞

本研究を行うにあたり，千葉県水産研究センター富津研究所　鳥羽光晴博士にはアサリの生態に関する多くの貴重なご助言を頂いた。ここに感謝の意を表する。本研究の一部は運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」による援助を受けて行われた。

文　献

荒川純平, 黒田伸郎，2003：アサリ浮遊幼生の窒素·リン摂取速度定式化の試み．愛知水試研報，**10** ： 15－20.

風呂田利夫，1997：干潟と浅瀬の生物，「東京湾の生物誌」（沼田 眞, 風呂田利夫 編），築地書館，東京，pp. 45－75.

浜口昌巳，1999：瀬戸内海アサリ漁場生態調査における適用方法の開発，「魚介類の初期生態解明のための種判別技術の開発」（農林水産技術会議事務局監修），農林水産省農林水産技術会議事務局，東京．pp. 66－76.

柿野　純，1992：アサリ漁業をとりまく近年の動向．水産工学，**29**：31－39.

Kasuya T., M. Hamaguchi, K. Furukawa, 2004 : Detailed observation of spatial abundance of clam larvae *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay, central Japan. J. Oceanogr., **60** : 631－636.

越川義功，棚瀬信夫，大槻　晃，1999：横浜平潟湾における遮水壁撤去後のアサリの生息回復とその特性．水産増殖．**47**：481－488.

工藤孝浩，2000：資源の管理者不在の海浜におけるアサリ採捕の問題．沿岸域，**13**：87－92.

桑原　連, 1990：東京湾内湾域の砂泥性底生動物相．東京農業大学農学集報, **35**：152－166.

村上和男，森川雅行，1988：東京湾の長周期流れの特性について．沿岸海洋研究ノート，**25**：146－155.

村野正昭，1980：東京湾のプランクトン．月刊海洋科学，**12**：761－776.

野村英明，石丸　隆，1998：東京湾におけるクラゲ類（刺胞動物及び有櫛動物）　の最近15年間の出現状況．海の研究．**7**：99－104.

Omori M., H. Ishii, A. Fujinaga, 1995 : Life history strategy of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphomedusae) and its impact on the zooplankton community of Tokyo Bay. ICES J. Mar. Sci., **52** : 597－603.

鈴木輝明，市川哲也，桃井幹夫，2002：リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝浮遊幼生の供給源予測に関する試み　－三河湾における事例研究－．水産海洋研究，**66**：88－101.

新保裕美，田中昌宏，越川義功，棚瀬信夫，池谷　毅，1999：現地調査によるアサリ生息量と環境要因との関係の検討　－神奈川県金沢湾・平潟湾を対象として－．海岸工学論文集．**46**：1216－1220.

田中彌太郎，1982：二枚貝類幼生の同定－⑯．海洋と生物，**18**：23－26.

鳥羽光晴，1987：アサリ種苗生産試験－1，人工種苗生産したアサリの成長，千葉県水試研報，**45** ： 41－48.

鳥羽光晴，1992：アサリ幼生の成長速度と水温との関係．千葉県水試研報，50: 17－20.

鳥羽光晴，2002：千葉県のアサリ漁業の現状．日本ベントス学会, 57：145－150.

質疑応答

（次の日向氏とまとめて記載）

東京湾におけるアサリ幼生の移流過程の数値計算

日向博文[*1]・戸簾幸嗣[*2]

Numerical simulation on advective process of planktonic leavae of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay

Hirofumi HINATA[*1] ・Koji TOMISU[*2]

Abstract

Numerical simulation based on the Princeton Ocean Model (POM) was performed to investigate advective process of plankton larvae of the clam *Ruditapes philippinarum* during the period from July 31 to August 10, 2001 in Tokyo Bay. Simulation results indicated that spatial distribution of wind velocity field strongly influenced flow patterns in the bay which play a crucial role in the advective process, and that the number of the larvae was reduced during the pelagic term due to depredation by *Noctiluca scintillans* and *Aurelia aurita*. In addition, the results suggested that the modeling of swimming movement of the larvae and the investigation of abundance of the clam in shallow regions including harbor areas were required to clarify precise process of recruitment and the existence of the network between shallow regions through exchange of the larvae.

Key word: numerical simulation, clams, planktonic larva, Tokyo Bay

アサリの生活史において浮遊期の動態には不明な部分が多い。全国的なアサリ激減の原因究明やその対策を講じる上でも浮遊期の動態を明らかにしておくことは一つの重要な課題であると考えられる。そのためには実海域において広域かつ時空間的に高密度な幼生のサンプリングを行うことに加え，流動観測や流動モデルによる検証が必要となる。しかしながら，そのような大がかりな観測は経済的にも人力的にも非常に難しく，これまでほとんど行われてこなかった。

本報告は，2001年8月に国土技術政策総合研究所，運輸施設整備事業団，瀬戸内海区水産研究所により行われた東京湾での広域アサリ幼生サンプリング調査結果の数値計算による検討，特に，湾内における幼生の移流過程，それに与える流動や捕食者の影響，さらにアサリ幼生供給地の推定結果について述べるものである。

材料と方法

ここでは，数値モデルと流況観測の概要についてのみ説明する。幼生サンプリング調査の詳細については粕谷による報告を参照されたい。

1. 数値モデル概要

流動モデルはPrincetion Ocean Model（POM）を使用した。計算領域をFig.1に，流動モデルの概要をTable 1に示す。水平格子間隔は600ｍで鉛直にはσ座標で21層に分割した。ただし，海面付近および海底付近の解像度を高くしている。

海上風　浅海域の流動計算を行うに当たり最も重要な外力の一つである海上風については2つのケースについて計算を行った。1つは東京灯標（東京湾沖）で計測された風を計算領域全体に一様に与える場合，2つめは東京灯標以外に東京湾横断道路やアメダスなど東京湾の海上及び33地点（Fig.1）で計測されている風速を空間補間して得られた海上風分布を与えた場合である。海上風の空間補間の手順は，基本的に灘岡（1997）と同様である。

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*1 国土技術政策総合研究所　（National Institute for Land and Infrastructure Management, Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826, JAPAN）

*2 東京理科大学大学院理工学研究科土木専攻　〒278-8510　千葉県野田市山崎2641　（Tokyo University of Science, Yamasaki 2641, Noda, Chiba, 278-8510, Japan）

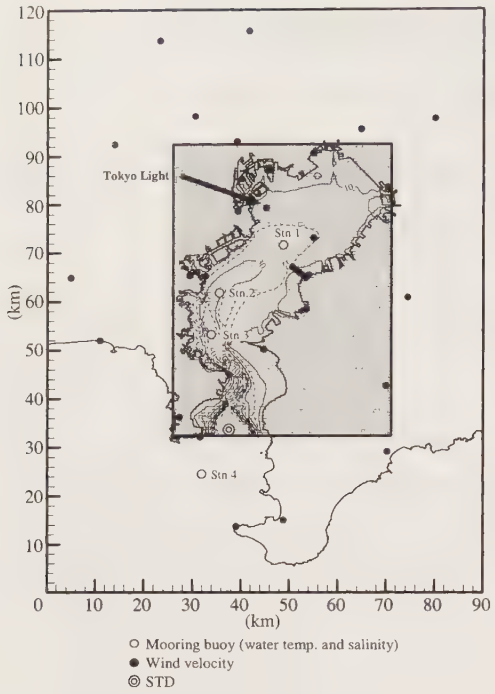


Fig.1. Model and observation region with bathymetry.

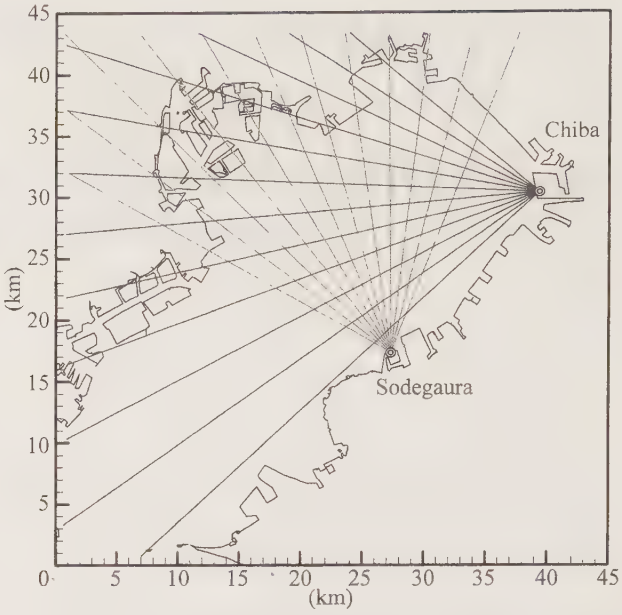


Fig.2. Beam patterns of HF-radar observation.

Table 1. Parameters used in the model calculation

Coriolis parameter (36°)	8.549×10^{-5} s^{-1}
Horizontal eddy viscosity	Smagorinsky diffusivity (HORCON parameter = 0.01)
Vertical eddy viscosity	Mellor and Yamada closure model Level 2.5
External mode time step	2 s^{-1}
Internal mode time step	60 s^{-1}
x-Grid scale	Δx = 600 m
y-Grid scale	Δy = 600 m
Number of grid(x, y, σ)	76 ×101 × 21
Bathymetry	Realistic (depths greater than 100 m were set to 100 m)
Computational term	July 1, 2001 – August 20, 2001
Spin-up time	30 days

ただし，実際の空間補間には仮想荷重法ではなく観測点からの距離に反比例する形の関数形（柳，井川，1992）を用いた。

海面における熱・運動量輸送　海面における熱量の輸送については以下に示すバルク式を用いて推測した。海水温を上昇させるための熱量Gは，日射量，顕熱輸送量，潜熱輸送量，海面水温（計算結果）をそれぞれS, L, H, lE(wm^{-2})，SST(K)とすると，

$$G^{\downarrow}=(1\text{-}ref)S^{\downarrow}-\varepsilon(\sigma SST^{4\uparrow}-L^{\downarrow})-H^{\uparrow}-lE$$

$$L=\sigma T_a^4$$

$$H=C_p\rho C_H U(SST-T_a)$$

$$lE=l\rho C_E U(0.98\times q_s-q_a)$$

と表される。ここにref（=0.06）は海面のアルベード，ε（=0.96）は海面の長波放射に対する射出率，σ（=5.670 $\times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$）はステファンーボルツマン定数，$C_p\rho$（=1.21$\times 10^3$ $JK^{-1}m^{-3}$）は空気の体積熱容量，l（=2.50$\times 10^6$ −2360$\times SST$ Jkg^{-1}）は水の気化潜熱，q_sは海上での飽和比湿，C_H，C_E（=1.2$\times 10^{-3}$）はバルク輸送係数であり，U，T_a，q_a，はそれぞれ風速，気温，比湿の観測値である。ただし，海上における気温，水蒸気圧に関する観測データが無いため，今回は地上（羽田）で計測された値を中村ら（1989）の方法を用いて以下のように修正した。

$$T_a=SST+0.89(T_{al}-SST)$$

$$q_a=\frac{0.622\dfrac{1.055e_{ol}}{p_{ol}}}{1-0.378\dfrac{1.055e_{ol}}{p_{ol}}}$$

ここにT_{al}，e_{ol}，p_{ol}，はそれぞれ地上における気温，蒸気圧，大気圧の観測値である。なお，ここには示さないが，蒸気圧を修正しない場合，上向きの潜熱が大きくなり表層海水温が観測結果に比べてかなり低くなる傾向が見られた。運動量輸送（Nm^{-2}）は，次のバルク式で与えられる。

$$\tau = \rho C_D U^2$$

C_Dはバルク輸送係数で，以下の様に風速の係数として与えた（本多・光易，1980）

$$C_D=\begin{cases}(1-1.89\times10^{-2}U)\times1.28\times10^{-3} & (U\leqq8.0m/s)\\ (1+1.078\times10^{-1}U)\times5.81\times10^{-4} & (U\geqq8.0m/s)\end{cases}$$

河川流量　河川流量は江戸川，多摩川については実測値（国土交通省）を，その他の主要河川（荒川，隅田川，鶴見川）については流域面積から推定した値を用いた。

湾口部における境界条件　湾口部開境界では水位，及び水温，塩分の鉛直分布を与える。

水位については横須賀における調和定数を参考に4大分潮（K1，O1，S2，M2）を与えた。

水温，塩分の鉛直分布はSTD観測，昇降式ブイ観測およびフェリー（ストレチア丸）航走水温データを組み合わせて作成した。STD観測は概ね1ヶ月間に1回の割合で行った。昇降式ブイは湾口部水深700m地点に設置した。通常センサーが位置する水深は約190mであり，午前1：00に自動的に昇降させ水深30mから190mまでの水温，塩分分布を計測した。

アサリ浮遊幼生　今回の計算ではアサリ浮遊幼生は流れに対して完全に受動的なトレーサーとして計算を行った。観測された浮遊幼生の空間分布は，幼生の積極的な行動を反映した形になっているものと考えられるが，現時点では実海域におけるアサリ浮遊幼生の積極的な行動については全く分かっていない。ここでは，アサリ浮遊幼生を完全に受動的なトレーサーとして扱った場合に観測結果をどの程度説明できるのか，どの海域の分布が合わないのか，という観点から計算を行っている。アサリ浮遊幼生の積極的な行動様式は最も重要な検討課題であり，今後の研究成果に期待したい。

ある時刻tにおける浮遊幼生の位置をXnとすると，時刻$t+\Delta t$における位置は，

$$X_{n+1}=X_n+0.5\Delta t(V^n+V^{n+1})+0.5\Delta t^2(\nabla V^n)V^n+\alpha\gamma(0,1)\sqrt{2K\Delta t}$$

となる。ここにvは流速，∇は微分演算子，$\gamma(0,1)$は平均0標準偏差1の乱数，α（=0.2）は計算パラメータ，Kは拡散係数である。なお，水平拡散係数はスマゴリンスキーモデルにより，鉛直拡散係数はMellor-Yamada クロージャーモデル（Level 2.5）により計算している

また，開境界から3km以内に近づいた粒子はそこで計算を中止した。

2. 流況観測概要

数値モデルの精度検証及び境界条件を与えることを目的として湾内全域において流況観測を実施した。(**Figs. 1, 2**)。湾奥2カ所（千葉市，袖ヶ浦市）に短波海洋レーダ（HFレーダ）を設置し，湾奥表層流道場を計測した。同時に，湾奥，湾央，湾口に係留されている航路標識ブイ（海上保安庁）のチェーン部分に水温・塩分計（MDS-CT：アレック電子社製）を複数台設置し，水温，塩分の鉛直分布の時系列変化を観測した。また，数値計算を行う上で必要な湾口部での水温，塩分の開境界条件を得るため，月1回程度のSTD観測に加え自動昇降式ブイ（AES-1：日油技研製）を湾口部に設置した。ブイは船舶交通量の少ない深夜に昇降を行い，表層から水深180mまでの水温塩分の鉛直分布を1日1回計測した。

結果と考察

1. 東京湾の流動特性

幼生の観測を行った時期（2001/8/2－2001/8/10），東京湾海上では南よりの風と北よりの風が数日周期で交互に吹き変わっており，これに反応して湾内流況はダイナミックに変動していた。**Fig. 3**にHFレーダーによって観測された異なる風向時における表層流速ベクトルと東京灯標における海上風（いずれも25時間移動平均値）を示す。北よりの風が卓越する時期には，湾奥では南西～西南西方向の流れが卓越する。市川から盤洲沖において40cm/s程度の強い南下流が発達するのに対し，船橋から東京湾沖にかけては流れは非常に弱くなっている。一方，南よりの風向きが卓越していた8月9日には，浦安から東京湾沖の北上流が発達し，湾奥には時計回りの循環流が明確な形で形成されていることが分かる。また，8月1日では東京灯標における海上風は8月9日とほぼ同じでありながら，9日とは流況が著しく異なっている。これは，後程示すように，履歴の効果と共に海上風の空間構造が重要であるものと考えられる。

Fig. 4 に計算結果（日平均流）を示す。海上風の空間分布を考慮した場合，空間的一様風を与えた場合に比べてHFレーダー観測結果を上手く再現出来ていることが分かる。特に8月1日に観測された袖ヶ浦から沖に向かう流れや8月9日に出現した時計回り循環流の再現性は両者で著しく異なっている　このことは，東京湾スケールの

計算を行う場合においても，海上風の空間分布に注意を払う必要があることを明確な形で示している。また，水温・塩分の再現性についてはここでは詳細は示さないが，概ね良好であり，係留ブイ（Stns.1-3）による観測データとの比較によれば，水温と塩分の誤差はそれぞれ0.43-0.82（℃），0.28-0.43（psu）程度であった。ただし，計算結果は観測結果に比べて表層混合層厚が小さく出る傾向にあった。

2. 浮遊幼生の移流拡散過程

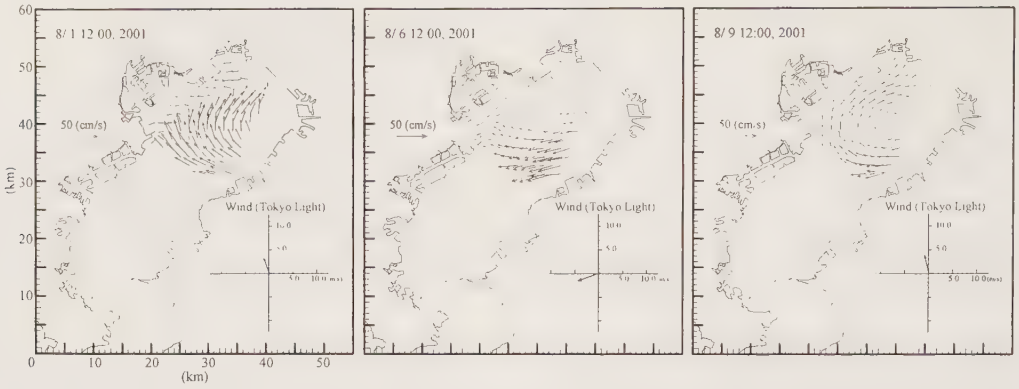


Fig.3. Low-passed current vectors in the head of Tokyo Bay and wind velocity vectors at Tokyo Light.

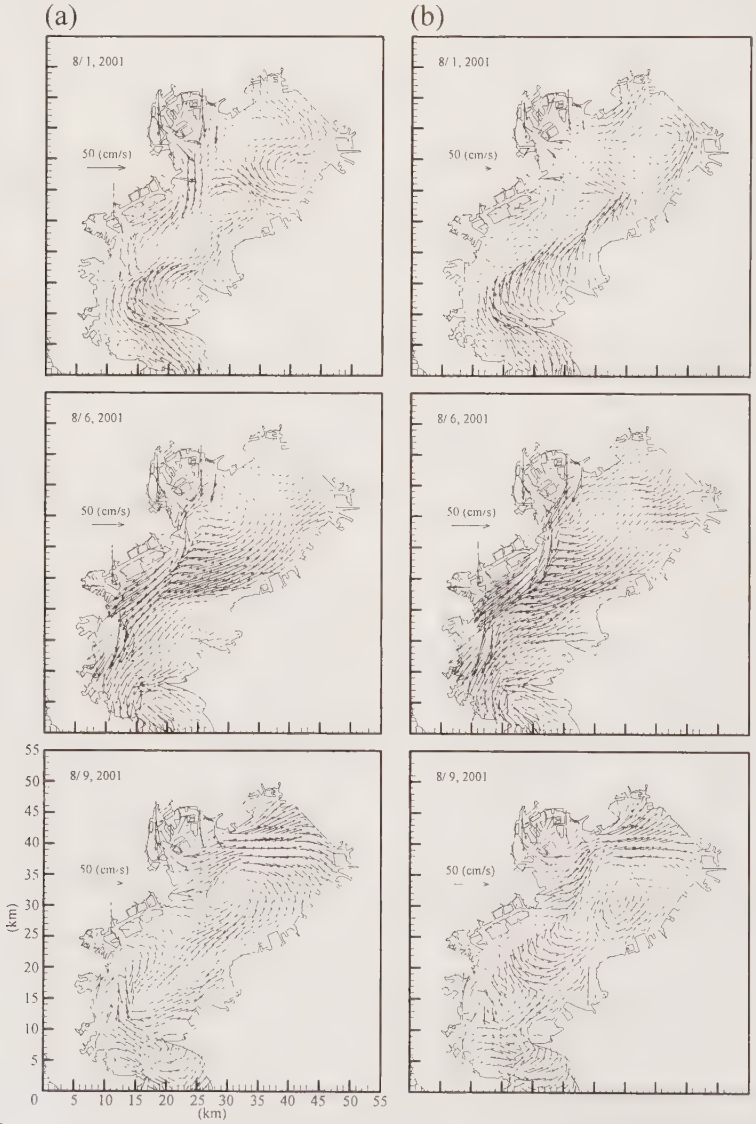


Fig. 4. Daily average surface currents using realistic wind (a), and spatially uniform wind velocity (b).

8月2日のD型幼生分布の観測結果を初期値として8月6日におけるUnbo期幼生分布の再現計算を試みた。まず，8月2日のD型幼生個体密度を空間補間し，各計算格子における個体密度を求める。空間補間には海上風と同じ関数形を使用した。その後，個体密度に比例させた形で0～12m層の各計算格子内に一様乱数を用いてパッシブトレーサーをランダムに配置し（Fig. 5），その後の流れによる移流拡散過程を追跡した。

8月6日正午（96時間後）における0～12m層に位置するトレーサーの空間分布をFig.6に示す．この時点では，8月2日に投入したトレーサーのうち約94%が湾内に溜まっており，そのうちの90%が0～12m層に，残りの10%がそれ以下の層に存在している。

観測結果との詳細な比較を行うために、観測点位置における個体密度を求めた。個体密度は，測点間の観測時刻の相違（最大で約5時間程度）を考慮し，観測点を含む3×3格子内（1.8㎞ 四方）の平均値として求めた。全観測点における幼生の数で見ると，計算では捕食の影響を考慮していないのにも関わらず，観測された個体密度から推定される浮遊幼生数の約68%程度の値となった。12m以深の層に存在しているトレーサーを考慮してもその約73%程度に溜まる。ただし，観測点別に見ると，全ての点で観測結果に比べて個体数が少ないわけではなく，極端に多い点と少ない点が特徴的に分布していた。観測結果と計算結果の差が顕著な場所（観測結果の3倍以上もしくは1/3以下）をFig.7に示す。図から分かるように計算値が観測値の3倍以上の値を示す場所（図中●印）は，湾奥部浦安～船橋沖と湾口部横浜～横須賀沖に局在している。反対に1/3以下の場所（図中○印）は，播州沖，三枚洲～多摩川河口沖，幕張沖の比較的岸近くに分布している。しかも，幕張を除けば代表的なアサリの産卵場の沖に位置している。

このような大きな差が生じた原因について考えてみる。まず，観測結果の3倍以上の値を示した測点（10点，図中●印）であるが，Fig.7 を見ると，これらの点のほとんど全てが8月2日もしくは8月6日に浮遊幼生の捕食者である夜光虫やクラゲが大量（夜光虫：1000個体/1以上，クラゲ：10個体/4㎥以上）に観測された場所（図中×印）であるか，その周辺に位置していることが分かる。このことから，これらの測点において計算結果と観測結果との間に大きな差が生じた主な原因として，本計算では浮遊幼生の捕食による減耗を考慮しなかったことが挙げられる。しかしながら，仮に捕食を考慮して計算を行った場合，観測結果に比べて極端に浮遊幼生の数が少なかった測点（12点，図中○印）では，アサリ幼生の数がさらに減り，観測結果との差がますます広がってしまうと予想される。では，これら12測点においてはどのような原因によって大きな差が生じてしまったのだろうか？その原因については現時点では不明であるが，著者らは，上述したようにこれらの点の多くがアサリ成貝の生息する代表的な浅瀬や干潟の沖合に位置している，という点に注目している。幕張沖の2点についても，後程示すように千葉港～養老川河口域がアサリ幼生供給地と推定されたことから例外ではない。本調査では図中斜線で示した海域（盤洲沖浅海部，多摩川河口～東京港内，千葉港内，三番瀬）において幼生のサンプリングを行わなかった

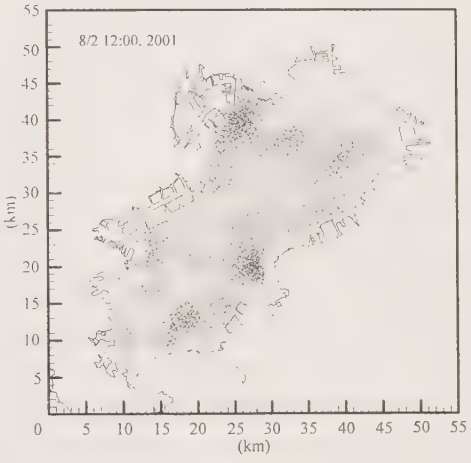


Fig.5. Passive tracer distribution on Aug. 2, 12:00, 2001. Tracers are set in the depth shallower than 12 m.

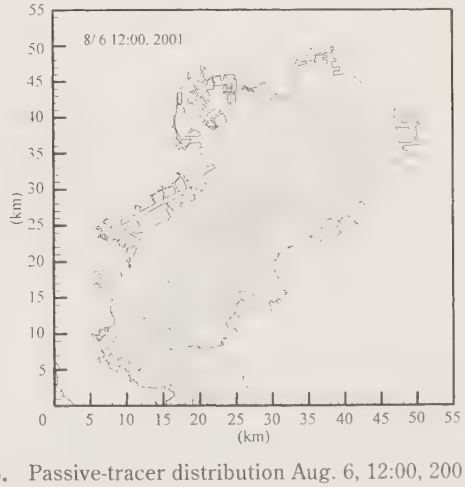


Fig.6. Passive-tracer distribution Aug. 6, 12:00, 2001. Tracers located in the depth shallower than 12m are shown.

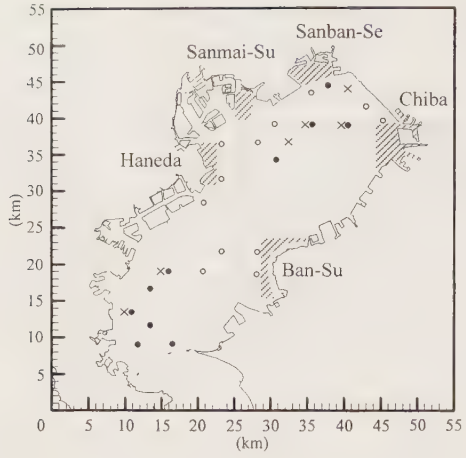


Fig.7. ●：model results are 3 times as large as observation results.
○：model results are 1/3 or less of observation results.
×：*Noctilca scintillans* (>1000 cells^{-1}) or *Aurelia aurita* (> 10 inds. 4m^{-2}) are sampled.
Shaded area appears to be the region in which an amount of D-shaped larvae exists on August 2, 2001.

しかしながら，8月2日にはこれらの海域の沖合に位置する測点で多くのD型幼生が観測されている（本プロシーディング中の粕谷による報告を参照）。これらのことから，代表的成貝生息地から供給されたD型幼生が，8月2日の時点で斜線部の海域に多数存在していた可能性が高い。実際には，これらの浮遊幼生が移流拡散し，8月6日に図中○印で示した測点で計算結果に比べて大量のUmbo期幼生が観測されたと推測できるのである。現時点では，ここで挙げた原因はあくまでも推測の域を出ていない。今後は，クラゲや夜光虫の捕食による減耗や，斜線部に存在していたと推測される浮遊幼生を考慮した計算を行う必要がある。

3. 浮遊幼生供給源の推定

浮遊幼生供給地を数値モデルに基づいて推定することを試みた。この計算は上で述べた計算とは別途行っている。まず，7月31日12：00に全計算領域内にトレーサーを等間隔に26,000個程度配置し，8月2日の正午までトレーサー追跡計算を行う。毎正時における各トレーサーの位置を保存しておき，8月2日正午の時点で多数のD型幼生が観測された観測地点の近くに位置するトレーサーを抽出する。このトレーサーが産卵推定時（7月31日頃）にどこに位置していたのかを保存しておいた計算結果から求めれば，浮遊幼生供給源の推定が出来る。ただし，D型幼生の大きさには幅があるので，ここでは生まれてから最も時間経過（推定誤差）の少ない100～110㎛の幼生を対象にした。

Fig.8に8月2日に観測された100～110㎛のD型幼生の7月31日正午の位置，即ち推定産卵場所を示す。

盤洲～富津沖，市原沖，東京湾沖でサンプリングされた幼生は，それぞれ盤洲～富津，千葉港～養老川河口域や三枚洲～浦安・三番瀬付近で産卵された可能性が高い。一方，横浜港沖のD型幼生の推定産卵場所は三枚洲～多摩川河口にかけての海域や横浜港内といった広い範囲となった。これは，河川流入に起因した東京湾の西岸沿いに発達する南下流が原因である。推定された産卵場所のうち，盤洲や三枚洲を除けば一般的なアサリ生息地としてはそれほど知られていない。しかしながら，川崎港等の埋め立て地背後の入り組んだ場所や千葉港内人工砂浜では，多くのアサリ成貝が生息していることが確認されており（浜口私信），湾内への幼生供給源となっていても不自然ではないと思われる。今後はこういった箇所における詳細な資源量調査等を行っていく必要があるものと考えられる。

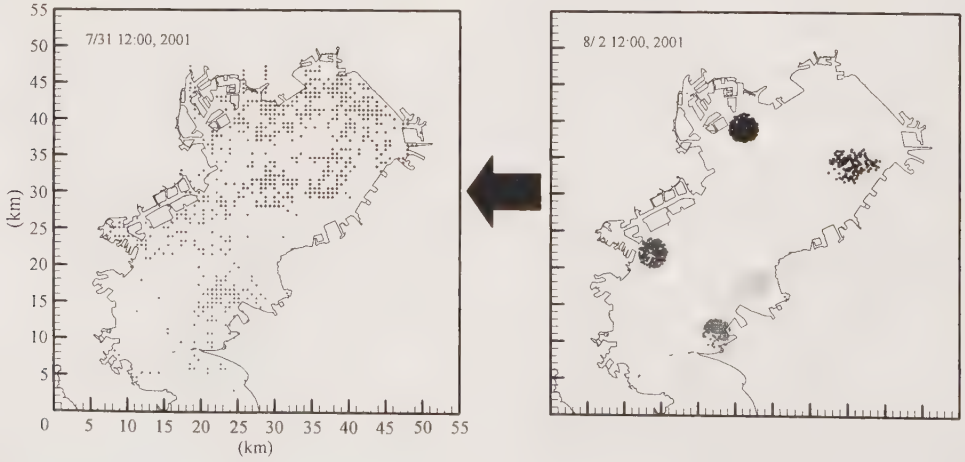


Fig.8. Horizontal distributions of passive tracers on 12:00, July 31, 2001 (left panel) and 12:00, August 2, 2001 (right panel).

4. 今後の課題

本報告ではアサリ幼生が流れに対して完全に受動的であると仮定し，2001年8月2日から8月6日にかけての東京湾におけるアサリ浮遊幼生の移流拡散過程を数値モデルに基づいて再現すること試みた。最後に，本計算を通じて明らかになったモデル化に関するいくつかの検討課題について述べる。まず，流動モデルの検討課題としては，アサリ成貝の主な生息域である干潟や浅瀬等の極浅海域（波の影響が支配的）における流動モデルと，本計算で使用した比較的沖合（数m以深）を対象とした流動モデルとをカップリングすることが重要である。この極浅海域における流れは，浮遊幼生が産卵場から沖合に流出していく過程や，反対に沖合から極浅海域に戻る過程において重要な働きをしていると考えられるからである。また，アサリ浮遊幼生のモデル化に関する今後の検討課題としては，まず塩分や水温選択性等のアサリ浮遊幼生の積極的な行動パターンを明らかにすることが挙げられる。この点については現時点では知見が著しく乏しく，現地観測や室内実験に基づくアサリ浮遊幼生の行動に関するデータの蓄積が急務である。さらに，夜光虫やクラゲ等による捕食のモデル化も非常に重要であろう。将来，著者らは，浮遊幼生の移流拡散過程を精度良く再現できる数値モデルに基づいて，東京湾におけるアサリ成貝生息地間の浮遊幼生を介した繋がり，あるいは生物的ネットワーク（風呂田，2000）の存在について明らかにしていきたいと考えている。生物的ネットワークについて明らかにしていくことは，東京湾全域におけるアサリ資源の動態を明らかにする上で重要であると考えられるからである。

謝　辞

本研究の一部は，運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」による援助を受けて行われたことを付記する。

文　献

灘岡和夫，二瓶泰雄，吉野忠和，1997：東京湾における風系の時空間変動特性の実態と湾内海水流動への影響について．海岸工学講演会文集，**44**，396−400

中村由行，一宮大祐，早川典生，西村肇，1989：内湾の熱収支と貧酸素水塊の形成について．長岡技術科学大学研究報告，**11**，69−81.

本多忠夫，光易恒，1980：水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究．海岸工学講演会論文集，**27**，90−93.

柳　哲雄，井川周三，1992：湾岸域の残差流モデル－周防灘・伊予灘への適用例－．湾岸海洋研究ノート，**30**，1，12−19.

風呂田利夫，2000：内湾の貝類，絶滅と保全－東京湾のウミニナ類減衰からの考察，月刊海洋号外，20，74-82.

質疑応答

灘岡氏　「あの，推測でよろしいのですが，アサリ幼生が干潟から出るまでの時間スケールってどれぐらいですか」

日向氏　「もしもですね，干潟に親が居て，そこで産卵するのだとしたら，当然，潮が引いたら水が出ていってしまう訳ですから，数時間の間にもう，沖合に出てしまうと言うわけですね」

灘岡氏　「それはだけど，潮汐ですから往復運動ですよね。出ていってまた帰ってくる部分もあるわけですね。それで，一周期ならして，どれくらい出ていくかって話しになると思うんですけれども。それで優位な拡散流出時間みたいなものは，わかってないんでしょうか」

日向氏　「・・・」

灘岡氏　「ま，いいです。そこら辺をこれからやられるということですね。それとあの，粕谷さんの方の実際の観測の方の話で，湾の中央域に集まってくるのは，沿岸湧昇のフロントに集まるというご説明だったんだけれども，数値計算でも，その収束域がどれぐらいの広いスケールで出てくるんですか」

粕谷氏　「えーと，広い域というのは？」

灘岡氏　「ローカルにはフロントですから，当然収束域は伴っていますけれども，示された図から東京湾の中央の広い範囲に見えましたよね」

粕谷氏　「そうです。はい」

灘岡氏　「だけど普通，沿岸湧昇が出てくるわけだから，表層は，沿岸輸送で，今の場合，西側に行くんじゃないですか」

粕谷氏　「西側に？」

灘岡氏　「輸送されるんじゃないですか」

粕谷氏　「輸送されます。えーと，ここにいるやつはですね，奥から時計回りの循環流に乗ってここに来る奴と，あと，そこの補昇流っていうか，補昇フローで，こういうところから，集まってくるものの，もので，こう集まる。いったんここに来ると，盤洲沖っていうのは流速が遅いので，滞留するっていうことです」

灘岡氏　「まあ仮に，沿岸湧昇で集まったとして，普通

あの，北風はいつか止む訳で，止んだらダイナミックなレスポンスするわけですね，湧昇水域っていうのは。普通はケルビン波とかなんかで，半時計に回っていきますよね，そういうことによるダイナミックなその後の輸送過程っていうのは，観測ないしは数値計算出てくるのですか」

粕谷氏「えーとですね，これは8月2日から6日で，平均を示していますが，どちらかというと北風が卓越していてですね，平均的にしか見てないんですけれども，こういったパターンが卓越しています。だから，湧昇の強弱はあるのですけれども，常に湧昇傾向にある」

灘岡氏「あ，そうなの？」

粕谷氏「そうです」

灘岡氏「分かりました」

司　会「それでは，そちらの方でお願いします，

杜多氏「瀬戸内水研の杜多と申しますけど，沈降速度を1ミリにしたときに，15メートルより深い所には全然いなかったようなんですが，それはこの計算を始めると，あっというまに下へ落ちちゃったということですか」

日向氏「これ，ご推測の通りで，先ほど言いましたように1時間で3・6メーター落ちますんで，半日もあれば全部下に落ちてしまう，ですから，ここで示してるのは，全部示してるわけではなくて，15メーター以浅にいる浮遊幼生だけを示しています　ですから，ここにいるのは，奥に，湾の真ん中にいますけれども，実は水深20メートルとか30メートルのところにはいますが，その内の15メートルより浅いところにいるものだけ示しています。ですからこれはですね，全部書かせますとこれにビッチリ下にはり付いています。ただそれは，この時点でこういった深いところに居る奴は，望み薄だということで図示していないということです」

杜多氏「そうしますとその一番右の図で，浅いところにいる奴は，海底に着いちゃってるということですか」

日向氏「はい，海底に，そうです，最下層です。海底の，海底から海底上，10センチ以内に多分いる奴がほとんどです。で，底にまで落ちますと，リターンフローはありますけれども，たかだか境界層の中に2，3センチのリターンフローしかないので，一日たってもですね，4，5キロしか動けないですね。だから，もし1ミリで落ちてリターンフローを使おうとすると，落ちるときにはすでに，干潟のけっこう近くにいると，リターンフローは使えないという，使っても岸まで行けないというふうになってしまいます」

司　会「あと，できればもうひと方だけお受けしたいと思いますけど。よろしいですか。それじゃ私から質問したいですが，日向さんも最後におっしゃったですが，アサリの浮遊幼生の動態そのものがよく分からないということで，180ミクロンを境にして，それより前は，完全受動的に動かされる，それより以降は沈降するというパターンで，計算されていますが，それを例えば完全受動ではないですとか，沈降するだけではなくて，上がったり下がったりするとかいう，そういうのを入れると，データはかなり違ったものになってしまうというか」

日向氏「えーと，違ってきます。やってないのですけど違いますとしか言いようがないです」

司　会「あの例えば，集積してる場所が違うとか，そういうことにもなるのですか」

日向氏「えーとですね，違うと思います。例えば，これの解析をやっていて，自分に対する疑問点なんですけれども，もしですね，うまく，補昇流が一番強い流域って言うのは，躍層よりちょっと下で，一番下じゃなくて，躍層からちょっと下の辺なんですけどね，補昇流が強いのは。もしいったんワッと水平に広がって，なおかつ補昇流を使ってまた，どこかに辿り着こうとすると、たぶん補昇流の強いところを選択的に，たぶん，しないといけないんです。だから多分，この補昇流が一番強いところを選択的に，もしアサリが動くとすると，かなりの部分が180ミクロンの直前まで湾央にいても，岸にたどり着くことができる。それで，多分もっと無効分散が少なくなるという結果が得られるだろうと推測できるわけです。」

アサリ幼生の干潟への侵入機構

黒田　伸郎*

Larval transportation and settlement mechanism to tidal flat in Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum*.

Nobuo KURODA*

Abstract

We studied larval vertical distributions of a clam *Ruditapes philippinarum* in Mikawa Bay and near the tidal flats to know the transportation and settling processes. In the bay, larvae tended to assemble in the bottom water column as they mature. As the result of this vertical movement, it seems that matured larvae are transported to the interior bay by landward flow at depth. At the spring tide, the matured larvae descended to the bottom water particularly at ebbs and low tides. They may avoid being transported offshore by this behavior. Near the tidal flats, the larvae also descended to the bottom water at low tides of the spring tide, but ascended to upper layer at floods and were transported to the interior tidal flats by the flood current. The ascending behavior was mainly observed at the mature stage. The matured larvae were considered to settle on the sediment when they made contact with the slopes of tidal flats, because the density of only the transported matured larvae in the tide water decreased during floods, and because most of the newly settled juveniles were found on the slopes of tidal flats.

Key word: larval movement, *Ruditapes philippinarum*, vertical distribution, tidal flat, settlement

一般にアサリの生息場が内湾の干潟域や河口域であることは広く認められている（伊藤,2002）。現在，我が国の年間漁獲量１位を続けている愛知県においても最大漁獲量は三河湾北岸の一色干潟であげられているし（東海農政局情報統計部,2001），稚貝が高密度に発生し移植稚貝の供給源となるいわゆる「種場」は，三河湾に注ぐ２つの１級河川，豊川・矢作川の河口域に形成される（西沢ら,1995；松村ら,2001）。近年の全国的なアサリ資源急減の中で，今や，豊川河口が我が国随一の放流種苗供給地であるとさえ言われている。

このように干潟域や河口域にアサリ生息場が形成される機構については，1990年代以降三重大学・関口秀夫教授のグループが精力的な研究を続けており，幼生が加入に成功するかどうかは，その場への幼生の供給量ではなく，底質や，河川流量，他の二枚貝との対応関係など，着底後に稚貝が遭遇する生残条件によって決定される場合が多いことを明らかにしてきた（Sekiguchi *et al.*, 1995；Tsutsumi and Sekiguchi , 1996；Miyawaki and Sekiguchi, 1999；Ishii *et al.*, 2001）。ただし，ここでいう「加入の成功」とは，沈着稚貝が殻長0.1㎜に達することである。また，これらの研究は，アサリ以外の二枚貝個体群が優占したり，二枚貝類全体の発生状況が著しく変動しており，アサリ個体群が高密度で安定的に維持されていない伊勢湾西岸や有明海で行われたものである。アサリ浮遊幼生の密度を殻頂期以降に限って比較すると，これらの海域では年間を通じてほとんど$10^2/m^3$オーダーを越えな

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

* 愛知県水産試験場漁業生産研究所（Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan）

いのに対し，三河湾では春季から秋季にかけてしばしば$10^3/m^3$オーダーで出現する（松村ら，2001；黒田・落合，2002）。Miyawaki and Sekiguchi (1999) の研究においても，特異的に高密度の幼生が出現したあとに，非常に高密度の親個体群が形成されることが確認されている。したがって，三河湾の河口域や干潟域で，比較的安定して高密度のアサリ個体群が維持されているのは，湾内にこのように高密度に発生する幼生が，恒常的に河口域や干潟域に供給され，そのうちのいくつかの群が加入に成功するためであると考えられる。

しかし，アサリ浮遊幼生がどのような過程を経て，河口域や干潟域に到達するのかを明らかにしようとした研究はきわめて少ない。母貝生息域で放出された浮遊幼生が，完全なプランクトンとして湾内を受動的に輸送されて，着底期に偶然好適場に到達したものだけが加入に成功するのか，幼生自身に内在する生物学的な機能が，輸送過程に対して何らかの役割を果たしているのかは，幼生の加入過程を知る上で重要な問題である（Mann *et al.*, 1991）にもかかわらず，アサリに関しては，主として技術上の困難さからほとんど手がつけられずにきた。筆者らはこれまでに，アサリ幼生特異的モノクローナル抗体を野外調査に適用する技術を，開発者である旧水産庁（現独法水産総合研究センター）瀬戸内海区水産研究所の濱口昌巳博士と共同で確立し，これを用いてアサリ幼生の三河湾全域における時空間分布の変動や，干潟付近での移動様式を明らかにする研究に取り組んできた（松村ら2001，黒田・落合，2002）。これらの野外研究の結果から，アサリ幼生の自律的な移動能力が湾内での輸送過程や，干潟縁辺部から干潟内部への輸送過程に関わっている可能性がみえてきたので，ここに紹介する。

試料と方法

三河湾における幼生の鉛直分布調査

湾内での幼生の成長段階と分布水深の関係を明らかにするために，漁場より沖の調査点で幼生の鉛直分布調査を行った。三河湾は平均水深10mの浅い内湾で，夏季には通常深度5m付近に密度躍層が形成される（宇野木，1984）。1999年には5～11月にSts.1，2，3，4の4地点で，2001年にはSts.4，5，6の3地点で5～11月に調査を行った（**Fig. 1**）。各調査点の水深は，St.3が基準水準面下6mであったのを除き，9～15mであった。各点の表層，深度4m層，底上1m層（水深11m以上の地点では深度10m層）から，水中ポンプで海水を300～500L汲み上げ，開口目合い100㎛（1999年調査）あるいは50㎛（2001年調査）のプランクトンネットで浮遊生物を捕集した。各採水層の水温・塩分をＴＳメータ（アレック電子社ACT20-D）で同時に測定した。採取試料は研究室に持ち帰り，分析に供するまで−20℃で凍結保存した。分析は松村ら（2001）に従い，解凍試料をアサリ幼生特異的モノクローナル抗体を用いた間接蛍光抗体法により染色し，落射蛍光顕微鏡下で特異蛍光を発した二枚貝幼生を，主として外部形態の特徴からＤ型期（D-shaped），殻頂期初期（Early umbo；以降「中期」と呼ぶ），殻頂完成期以降（Umbo and full grown；以降「後期」と呼ぶ）の3つの成長段階に分けて計数を行った。

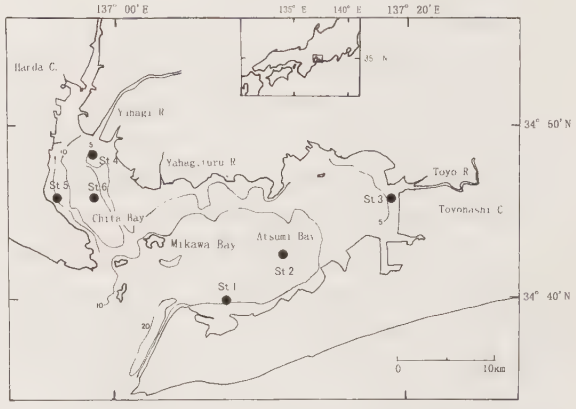


Fig. 1. Sampling stations for collecting larval clam *Ruditapes philippinarum* in Mikawa Bay. Larvae were collected at St.1～4 in 1999, St.4～6 in 2001.

一色干潟における漂流ブイ追随実験

干潟に近づいた幼生が干潟上に輸送される過程を明らかにするために，漂流ブイ追随実験を行った。1999年7月11日に簡易漂流ブイ（**Fig. 2**）を一色干潟の縁辺部に浮かべ，これを追跡しながら適宜海水を深度2mごとに前項と同様に採取し，アサリ浮遊幼生の密度を成長段階別に計数した。採取地点において，各層の水温・塩分をＴＳメータで前項と同様に測定した。漂流ブイは風の影響をできるだけ受けない構造とし，深度0.5m層の潮流を反映して移動するよう設計した。なお，当日は大潮日にあたっており，最干潮は11時30分であった。実験は最干潮時から1.5時間と，最干潮2時間後から1.7時間のともに上げ潮時に2回行い，1回目は3地点，2回目は4地点で観測を行った（**Fig. 3**）。

矢作川河口干潟における幼生供給調査

矢作川河口部に供給された浮遊幼生が河口干潟に輸送され，着底する過程を明らかにするために，2000年6月の大潮期に，浮遊幼生調査と着底稚貝調査を行った。2000年6月2日に河口部において，河川流心部のラインに沿って最干潮時から上げ潮時に地点Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄで随時海水を採取し，前項と同様にアサリ浮遊幼生の分布密

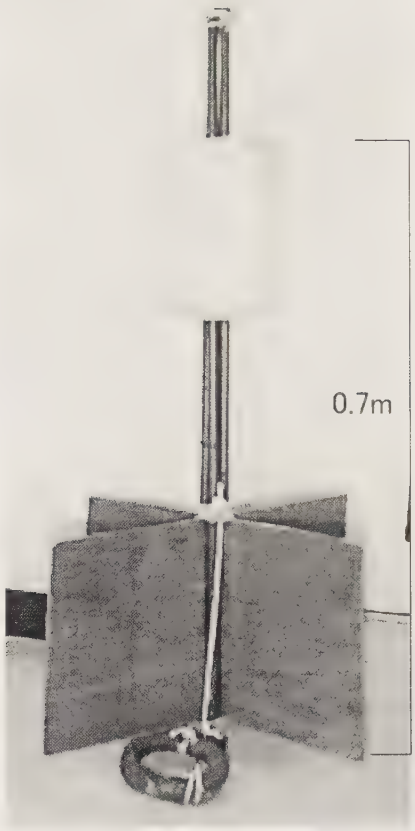


Fig. 2. The Floating buoy for tracking surface water current.

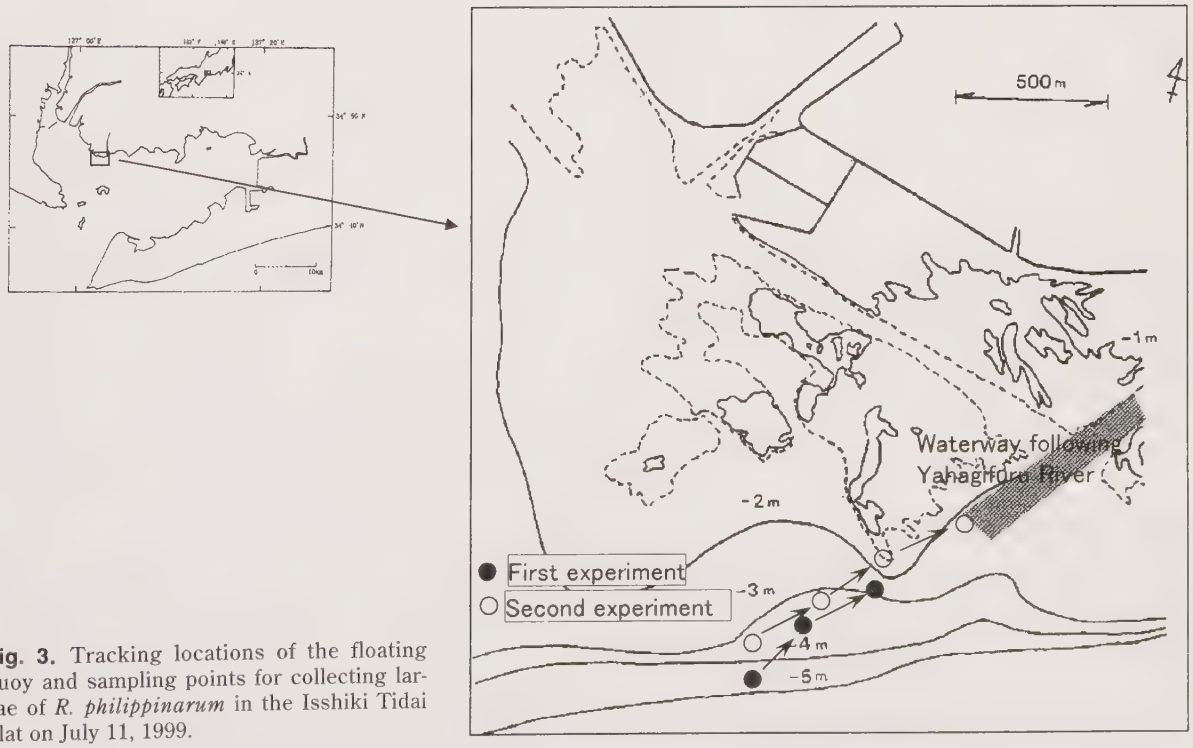


Fig. 3. Tracking locations of the floating buoy and sampling points for collecting larvae of *R. philippinarum* in the Isshiki Tidai Flat on July 11, 1999.

度を測定した（Fig. 4）。海水採取時には，ＴＳメータで各層の水温・塩分の測定を同時に行った。また，この大潮期間中の稚貝着底量を明らかにするために，期間の前後にあたる5月31日と6月5日に，河川を横断する2ラインに設けた計7地点で，着底稚貝の分布密度を測定した。これらのうち，地点2，6は河川の流心部に，5，8，3は干潟の斜面部に，1，4，7は干潟の高地盤の地点に位置した　試料は，砂泥ごと直径4.2㎝のアクリルチューブで深さ約10㎝まで採取し，0.5㎜メッシュのふるいを通過した画分中のアサリ稚貝数を計数した。各地点における6月5日と5月31日の着底稚貝密度の差を，この期間に新たに着底した稚貝量とした。また，各地点の砂泥のシルト・粘土（0.075㎜以下），細砂（0.075-0.425㎜），粗砂（0.425-2㎜），礫（2㎜以上）の重量比をふるい法（JIS-A1204）で求め，粒度組成とした。

Fig. 4. Sampling points for larvae (A-D) and newly settled juveniles (1-8) of *R. philippinarum* at the mouth of the Yahagi River at the spring tide in June 2000. Points A to D, 2 and 6: the center of the river. Points 3, 5 and 8: the slope of tidal flats. Points 1, 4 and 7: near the mound of the tidal flats.

結　果

三河湾における幼生の鉛直分布

全観測期間を通じて観測されたアサリ浮遊幼生の出現密度は，0～152,000 inds/m^{3}と大きく変動した。各成長段階の幼生が，どの深度に高密度に出現するかは，観測日，調査点ごとにさまざまなパターンがみられたが，（Fig. 5）これらのパターンに一定の傾向がみられるかどうかを判断するために，各成長段階別に，幼生が特定の層に集積した延べ回数をまとめた（Table 1）。ここで，「集積」とは，ある観測層の幼生出現密度が他の２層のいずれに対しても２倍以上だった場合，と定義した。なお，各成長段階について，３層すべての出現密度が100 inds/m^{3}以下の低密度であった事例は除いた。その結果，幼生は発生初期は表・中層に集積する傾向があり，成長が進むにつれて，底層へ集積する傾向がみられ，後期幼生では延べ回数の約半数は底層に集積していた。

このように成長段階が進行すると底層に高密度に分布する傾向がみられる原因を明らかにするために，各成長段階ごとに出現密度と観測時の水温・塩分との相関を求めたが，いずれも明瞭な相関は認められなかった。次に，各層の現場比重（σ t）との関係を調べたところ，表底層のσ tに１以上の差がみられる密度躍層形成時の観測例を抽出したときに，底層の後期幼生密度が有意に表，中層より高かった（Bonferroni-Holm法で有意水準を調整したWilcoxonの符号順位検定，有意水準5%）。

一色干潟における漂流ブイ追随実験

各観測時の塩分の鉛直分布を Fig. 6 に，アサリ浮遊幼生の鉛直分布を Fig. 7 に示した。1回目の漂流実験は最干潮時から開始したため海水の流速が小さく，ブイの移動距離は小さかった（Fig. 3）。水深ごとの塩分は３回の観測ともほぼ同様の値を示した。同様に，水深ごとのアサリ幼生の成長段階別の密度は３回の観測で大きな差がなかった。これらのことから，今回用いた漂流ブイは風波の影響を受けず，潮汐流を追跡するのに有効であることが確認された。

最干潮時から上げ潮初期のこの時間帯には，アサリ浮遊幼生の密度は4m層で著しく高かった。しかし，詳細にみると，岸方向に水塊が移動するのに伴って，そのうち，Ｄ型・中期幼生密度だけが340から110 inds/m^{3}まで低下した。

2回目の漂流実験は，1回目の実験よりやや岸寄りで行ったため，3地点では2層しか採取できなかった。塩分の鉛直分布をみると，3地点目までは表層から底層までほぼ同一の水塊が岸に向かって水平的に移動したと考えられる。最後の採取地点では矢作古川の河川水の影響を受けている澪筋に入ったため，表層の塩分が低くなった。したがって，この時は深度約1m以下の潮流と，表層の潮流は流向が異なっていたことが考えられる。

2回目の実験の深度2m層と表層のアサリ浮遊幼生密度の経時変化をみると，2m層の密度は200～250 inds/m^{3}とほぼ一定であったのに対し，表層では80から380 inds/m^{3}まで密度が高まった。また，Ｄ型・中期幼生より後期幼生の方が表層の密度の増加が大きかった。

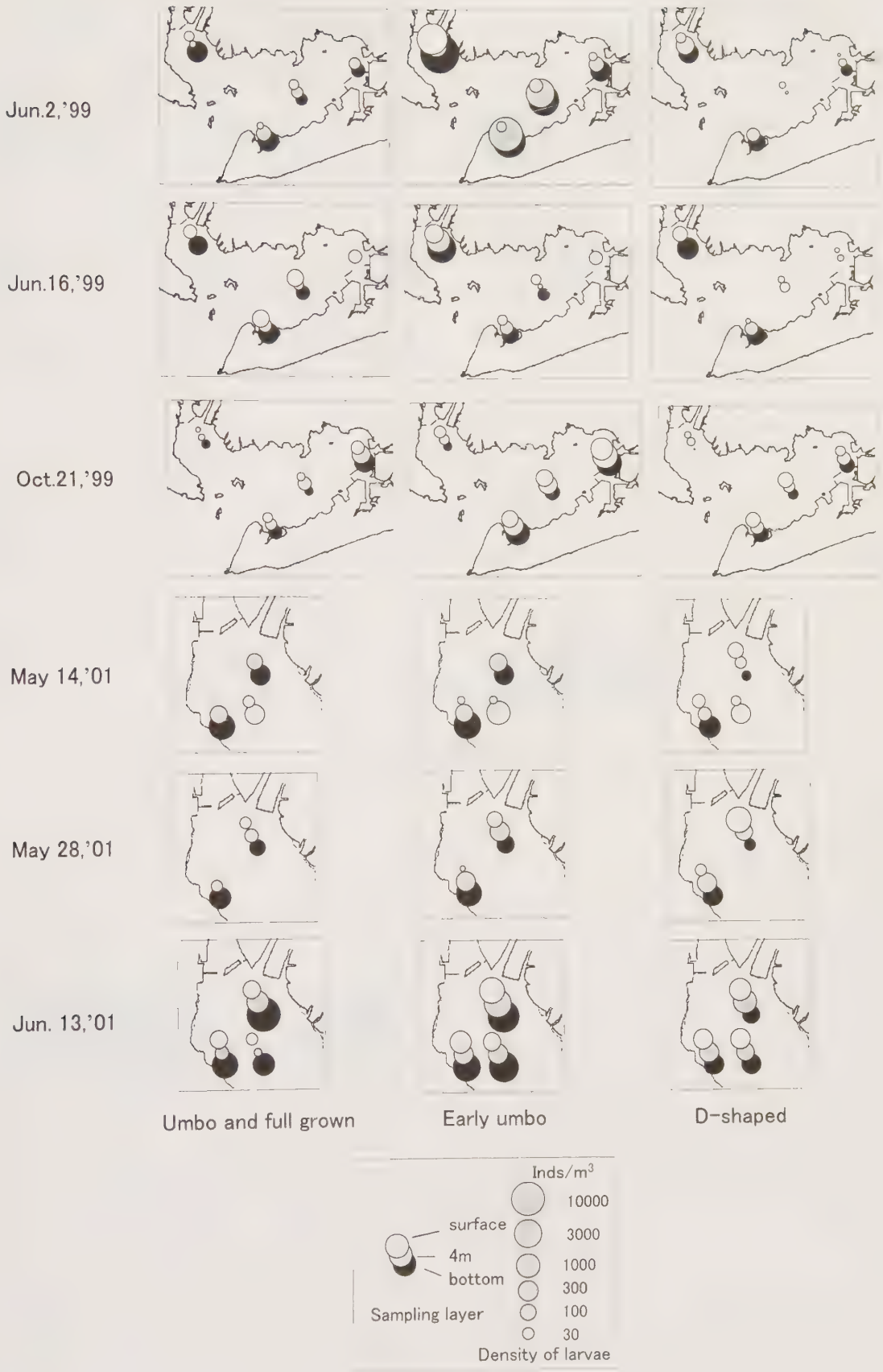


Fig. 5. Vertical distribution patterns of larvae of *R. philippinarum* at different stages.

矢作川河口干潟への幼生供給調査

大潮上げ潮の幼生観測時の塩分分布をみると，同じ水塊を採取したとは言えなかった（**Fig. 8**）が，どの地点でもほぼ同じ塩分を示した深度2m層の幼生出現密度はいずれの地点でも2,500～4,000 inds/m^{3}と比較的類似した値であった（**Fig. 9**）。密度の類似は異なる水塊でも生じうるが，調査時この海域には由来の同一な幼生個体群が広く分布していたとも考えられる。この深度層に着目して，成長段階別に幼生密度を詳しくみると，D型幼生は潮の上げはじめに沖の定点A（13:00）で1,700 inds/m^3，干潟横の定点D（13：40）で2,200 inds/m^3，上げ潮途中の定点D（14：30）で1,800 inds/m^{3}とほぼ同じ密度を保っていたのに対し，後期幼生は，同じ順に，1,500，1,100，500 inds/m^{3}と沖より干潟付近で，同じ干潟付近でも時間経過とともに密度が減少した。

この大潮の期間に河口干潟の各調査点に沈着した初期着底稚貝数は，3,000～34,000 inds/m^{2}であった（**Fig. 10**）。また，河川の流心部にあたる定点2，6には稚貝の沈着は全く見られず，河口部の定点2では初期着底稚貝数はむしろ減少していた。定点2の粒度組成は，他の7地点と比べ明らかにシルト・粘土分が多く稚貝の沈着に不適な底質であったと考えられるが，定点6は，沈着量が2番目に多かった定点8ときわめて類似した砂質の粒度組成を示し，稚貝の沈着に不適な底質であるとは考えられなかった。

Table 1. Number of larval assemblages in different layers

Layer	D-shaped	Early umbo	Umbo and full grown
Surface	11 (23)	7 (13)	8 (17)
4m layer	13 (28)	11 (21)	5 (11)
Bottom	8 (17)	18 (35)	22 (48)
Not assembled	15 (32)	16 (31)	11 (24)
Total	47	52	46

Percentages to total observed number are indicated in parentheses.

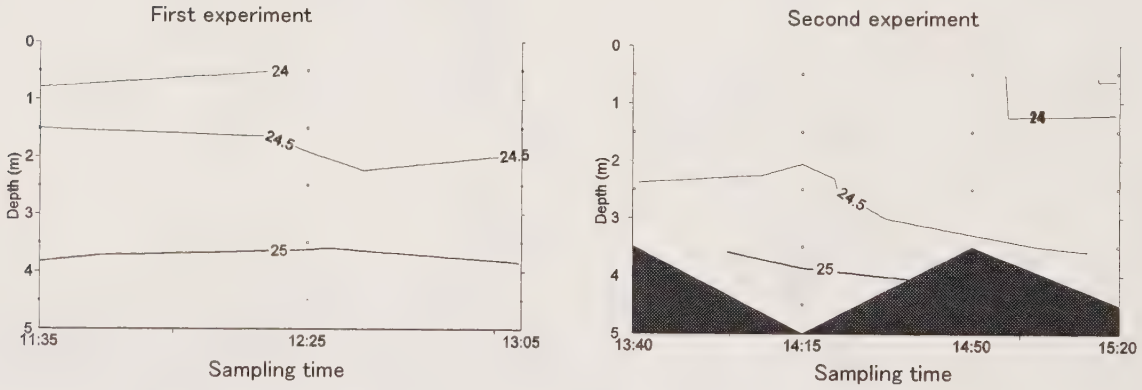


Fig. 6. Vertical salinity distribution of the sampling points at the Isshiki tidal flat.

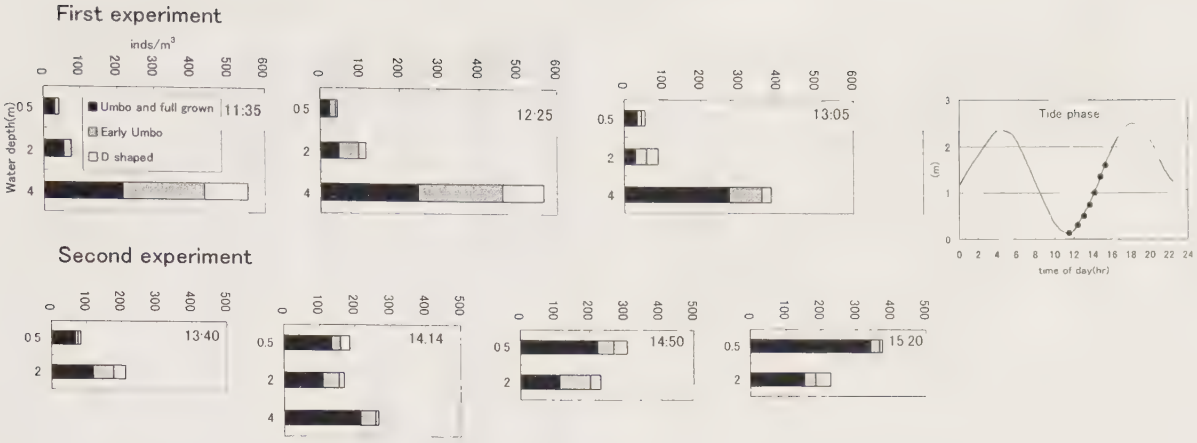


Fig. 7. Vertical larvae distribution of *R. philippinarum* at each sampling point of the Isshiki tidal flat. The tidal phases of each sampling time is shown at the right.

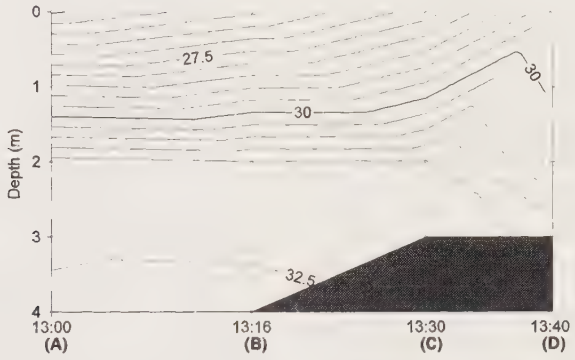


Fig. 8. Vertical salinity distribution of each sampling point at the mouth of the Yahagi River.

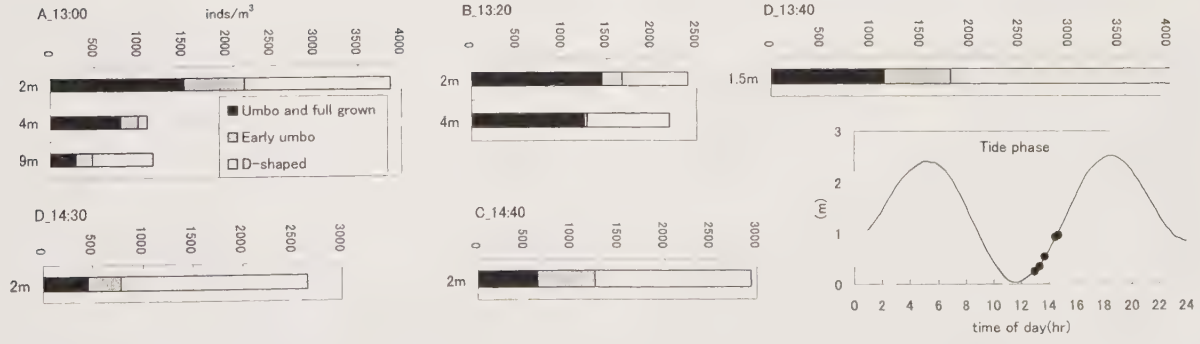


Fig. 9. Vertical larvae distribution of *R. philippinarum* at each sampling point of the mouth of the Yahagi River. The tidal phases of each sampling time is shown at the right.

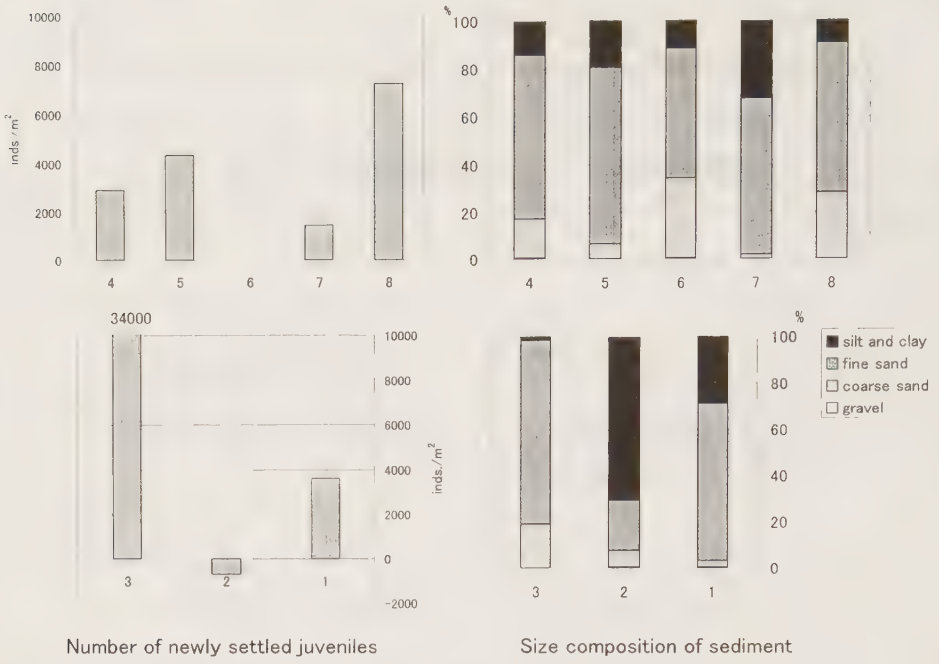


Fig. 10. Number of newly settled juveniles of *R. philippinarum* at the spring tide, and sediment size composition of each sampling point at the mouth of the Yahagi River.

考　察

2年間にわたって，アサリ浮遊幼生の鉛直分布を成長段階別に観測した結果，三河湾において，アサリ浮遊幼生は成長が進むにつれて，徐々に深い層に選択的に分布することが明らかとなった。Cragg（1980）は，イタヤガイ *Pecten maximus* の幼生が成長初期には常にベラムを動かして表層に浮く傾向があり，成長が進むとベラムの運動が停止する時間が増えることにより，底層に沈降する傾向があることを実験的に明らかにしている。今回の観測では，後期幼生の底層への集積は，表底層の密度成層が弱いときにはあまりみられず，成層強度が強いときにみられた。したがって着底期に近づいた後期幼生は，海水の物理的上下混合によって分布を妨げられない限り，底層に選択的に集積するものと考えられる。また，表層の水温・塩分の広い範囲にわたって底層への集積がみられたことから，特定の水温・塩分を避けて底層に集積するわけではないと考えられた。これらのことから，アサリ幼生の成長に伴う分布層選択性は，水温・塩分条件ではなく，Cragg（1971）の示したようなアサリ自身の運動特性の変化によって決定されているものと思われる。

このように春季から秋季にかけて，成層構造が発達し，上出下入の鉛直循環流が生じているとき（宇野木，1984）に，成長段階が進んだ幼生が底層に分布することは，三河湾における幼生の移動・分散過程にきわめて重要な意味をもつ。すなわち，発生初期の幼生が表層付近を浮遊して，湾奥から湾口に向かう上層流に乗って分布を広げていくのに対し，成長段階が進んだ幼生は，湾口から湾奥に向かう下層流に乗ることにより，湾外への流出を避けられるだけでなく，本来のアサリの生息場である湾奥の浅海域へ輸送されやすくなるからである。

さらに，着底期の幼生が底層に沈降することは，干潟付近では別の観点で重要な意味をもつ。すなわち，大潮期には干潟付近では，表層における下げ潮の流速がきわめて大きいのに対して，底層付近では流速は微弱であるため，底層に分布していれば，これから着底しようとする干潟から沖合に輸送されずにすむことになる（西沢ら，1995）。そこで，後期幼生が底層に集積したときの，潮期と潮位をまとめたところ，Table 2 に示したように，大潮期には，すべて下げ潮時か干潮時にあたっており，中潮期，小潮期でも，上げ潮時や満潮時より下げ潮時や干潮時の場合が多かった。やはり西沢ら（1995）が想定したとおり，実海域において，着底期幼生は特に大潮下

Table 2. Frequency of the tide phase when the matured larvae descended to the bottom layer

Tide phase	Spring	Middle	Neap
Flood	0	2	2
High	0	0	1
Ebb	6	1	4
Low	3	3	0

げ潮時には，底層に分布することによって干潟から遠ざかる流れを避けているようにみえる。このような潮汐変動に伴う鉛直移動行動は，甲殻類のアミ類幼体（高橋，1993）や動物プランクトン（松田，1993）でも報告されており，干潟付近に生息する生物の生態進化の観点からも興味深いことである。

一色干潟における観測でも，干潟縁辺部において大潮最干潮時には，幼生が底層に集積することが確認された。これに対し，矢作川河口における観測では干潟より沖合の調査点で，大潮の上げはじめの時点で幼生は4,9m層より2m層で密度が高かった。一色干潟と矢作川河口部における今回の調査結果から，幼生は大潮期の上げ潮流に乗って，干潟上へ輸送されていくと考えられたので，干潟より沖合部では幼生は下げ潮から干潮時にかけて底層に集積し，上げ始めると同時に表層へ浮上するのかも知れない．矢作川河口の観測日の最干潮は11時40分であった。仮にこの時点で幼生が深度9mの底層に集積していたとすると，13時の観測時までに1.5㎜/Sの速度で浮上した計算になる。アサリ幼生の遊泳速度に関する報告はみられないが，多種の二枚貝幼生に対する実験結果として，0.1～10㎜/Sの鉛直上昇速度が報告されており（Cragg, 1980），今回の結果はこの範囲に入っていることから，この間に底層から表層まで浮上することは可能であると考えられる。

一色干潟の観測では，幼生は潮の上げはじめには底層付近に集積したまま澪筋を干潟内部へ輸送されたのに対し，上げ潮最強時には表層付近で密度が高まる傾向がみられた。これは干潟内部へ進入すると水深が浅くなるので，単に薄い層に幼生が集積した結果とも考えられるが，成長段階別に鉛直分布をみると，D型・中期幼生に比べ，後期幼生で特に表層への集積が顕著にみられたことから，やはり着底期に近い幼生は，上げ潮時には浅い層へ浮上して，干潟奥部へ輸送されようとする自律的移動行動が存在するのではないかと思われた。この時期の幼生は，着底基質を探索することが知られているので，このような浮上行動は，干潟の外縁部の特定の底質を嫌う忌避行動の結果であることも考えられる。

一方，矢作川河口部での観測では，表層付近に集積した後期幼生は，干潟に近づくにつれその密度が減少した。この観測では一色干潟の観測のように潮流を追跡していないこと，ごく表層の採水を行わなかったことから，結果を同様には扱えないが，矢作川河口では，今回の調査水域より上流ではさらに塩分が低くなると考えられるので，一色干潟でみられたように，幼生が今回の観測層よりも浅い層に集積して，さらに上流へ輸送されていく可能性は少ないと考えられる。実際，今回の観測水域のうちの最上流部が最も稚貝の発生が多くみられる地域である。これらのことから，今回観測層とした深度2m付近でD型幼生の密度に大きな変化がなかったのに対し，後期幼生のみが経時的に密度が減少したことは，上げ潮潮流に乗った幼生が成長段階に関わらず，一様に干潟内部へ輸送され，そのうち後期幼生だけが，着底行動を起こして密度を減少させたことを示しているものと考えられる。この大潮期間に沈着した初期着底稚貝量は，干潟の特に斜面上で大きく，河川の流心部では着底に好適であると考えられる粒度組成でも全く沈着がみられなかったことから，着底期幼生は，浅い深度を維持したまま干潟内部へ輸送されていき，干潟斜面に物理的に接触して，着底行動を起こすように思われた

矢作川河口は三河湾の中でも，稚貝の発生量が大きく，古くからアサリの「種場」として愛知県のアサリ漁業の中で大きな役割を果たしてきた。このような稚貝大量発生は，①三河湾沿岸部の豊富なアサリ資源量に由来する，大量かつ頻繁な幼生の供給（黒田・落合，2000），②成長が進むにつれ，幼生自身が底層付近に選択的に分布することによる，湾奥への輸送過程の成立（本研究結果），③干潟付近で，上げ潮時に幼生自身が表層へ浮上することによる，干潟内部への輸送過程の成立（本研究結果），によって支えられているものと考えられる。

謝　辞

本シンポジウムで講演の機会を与えて下さった，コンビナーの瀬戸内海区水産研究所の浜口昌巳博士，養殖研究所の日向野純也博士に感謝申し上げます。本研究を進める中で，千葉県水産研究センター・富津研究所の鳥羽光晴博士には終始，貴重なご助言と励ましの言葉をいただき，勇気づけられました。ここに厚くお礼申し上げます。本稿をまとめるにあたり，愛知県水産試験場・内水面研究所の宮脇大博士には，お忙しい中で貴重なご助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。本研究の成功は，愛知県水産試験場・漁業生産研究所・栽培漁業研究室の歴代の研究員のチームワークなくしては得られなかったものです。苦楽をともにした，岩崎員郎，岡本俊治，松村貴晴，阿知波英明，落合真哉，盛田信，荒川純平の諸氏に心より謝意を表します。

文　献

Cragg S.M., 1980：Swimming behavior of the larvae of *Pecten maximus* (L.) (Bivalvia). *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **60**, 551-564.

Ishii R., Sekiguchi H., Nakahara Y. and Jinnai Y., 2001：Larval recruitment of the manila clam *Ruditapes*

philippinarum in Ariake Sound, southern Japan. *Fisheries Science*, **67,** 579-591.

伊藤博，2002：アサリはどんな生き物か：アサリの生態，および漁業生産の推移．日本ベントス学会誌，**57,** 134-138.

黒田伸郎，落合真哉，2002：三河湾におけるアサリD型幼生の分布．愛知県水試研報，**9,** 19-26.

Mann R., Campos B.M. and Luckenbach M.W.,1991：Swimming rate and responses of larvae of three mactrid bivalves to salinity discontinuities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **68,** 257-269.

松田義弘，1993：マングローブ域の潮汐による海水流動と物質分散．月刊海洋，**25,** 276-282.

松村貴晴，岡本俊治，黒田伸郎，浜口昌巳，2001：三河湾におけるアサリ浮遊幼生の時空間分布ー間接蛍光抗体法を用いた解析の試みー．日本ベントス学会誌，**56,** 1-8.

Miyawaki D. and Sekiguchi H，1999：Interannual variation of bivalve populations on temperate tidal flats. *Fisheries Science,* **65,** 817-829.

西沢正，日向野純也，田口浩一，伊藤覚，1995：三河湾におけるアサリ稚貝の分布量と底質および流れとの関係．水産工学，**32,** 137-143.

Sekiguchi H., Uchida M. and Sakai A., 1995：Post-settlement processes determining features of bivalve assemblages in tidal flats. *Benthos Research,* **49,** 1-14.

高橋一生，1993：砕波帯におけるアミ類の幼体と親の分布．月刊海洋，**25,** 251-256.東海農政局統計情報部，2002：第49次愛知農林水産統計年報，東海農政局，愛知県，322pp.

Tsutsumi Y. and Sekiguchi H, 1996：Spatial distributions of larval, newly settled, and benthic stages of bivalves in subtidal areas adjacent to tidal flats. *Benthos Research,* **50,** 29-37.

宇野木早苗，1984：内湾の物理環境，「内湾の環境科学」（西条八束編），培風館，東京，pp.63-162.

質疑応答

伊藤氏　「東北大学の伊藤です。最後の黒田さんの図，最後の図ですね，私たちの先ほどイソシジミ中心に話ししたのですが，名取川でも全く同じような現象が起きていまして，着底するのは，干潟の縁辺部のところということが分かっています。で，あの，粒度と結びつけられていたんですが，やっぱり水の流れ方がですね，干潟域に，浅い方に行ったときの，塩分の構造とか栄養塩の濃度分布なんかを見ると，深い部分とは随分違いますので，そういった，あの，地形と塩分分布と，その水の流れ方のバランスみたいなのがあって，そして，稚貝が着底するのだろうというふうに私，今思ってるのですが，このあたりは，なんかもうちょっと整理されていると共通してくるかなというふうに見ていたのですが」

黒田氏　「おっしゃる通りですね，全部。塩分は，先ほどちょっと示しましたけれども，この干潟の浅いとこって，測れない。その水深50センチとか，そういうところだと難しいので，この付近のところでは先ほど示しましたように，測っているのですけども，結構塩分が低いですね。」

伊藤氏　「それだと，ちょっと違ってるかもしれませんね。干潟の浅いところの水の境界層と縁辺部のそれを，それこそ10センチくらいの距離で，調べますと，その稚貝が着底する部分の供給域機構というか，そのあたりが，水の流れと関連させられて，見えて来ると思います」

黒田氏　「分かりました。じゃあ伊藤先生が先ほど，お示しして頂いたような，細かい，ああいう採水装置みたいなものをまた教えて頂いて，できればやってみたいと思います」

司　会　「その他にございませんか？」

日向野氏「養殖研究所の日向野でございます。やはり最後の図でですね，やはり河口のCの点と，ステーション2のところですね，ここで着底はしたけれど，すぐに死んでしまったという，マイナスな結果となってるという，非常に印象的な感じが致しましたのですけども，ここはまあ着底をしないということではなくて，したけれども残らないと言うことですね」

黒田氏　「そうですね。この減った分というのは，調査の開始時には，平米あたり数百，いや，七，八百かな，アサリ稚貝がそのぐらいの密度では居たのですね。それがその後の時期には見られなかったということで」

日向野氏「この場所あたりは，Cのところまであるかどうか分からないのですけれど，掘削されている場所だと思うのです。そうするとかなり底質環境が粒度だけじゃなくて，化学的な環境なんかも悪い可能性があるのかなという気もしたのですが，その辺はいかがですか」

黒田氏　「底質までは調べてないんですけれども，水なんかを汲んだ印象では，例えばその硫化水素が出るとか，そういうような所ではないですよね。干満のけっこう激しい所ですので，やっぱり問

題は，ここの場合はシルトだけかなっていう気はしております」

日向野氏「どうもありがとうございました」

司　会「他にどなたか」

？　氏「あの，最初の方では，底の方に，大きい幼生が居てということなのですけれども，底というのは本当の底なのか，それともちょっと，ちょっと上という表現，アバウトなのですけど，つまり一番底にいるとですね，流れが弱いというか，ほとんどゼロなので，戻れないと思うんですけど」

黒田氏「その話を先ほどされてたので，ここはですね，平均水深が10メーターぐらいです。で，私どもが底って言ってるのは，10メーターより深いところは，10メーター層って考えていますで，10メーターより浅いところでは，底上1メーターを測っています，ですんで，7メーターとかの水深の所では，6メーターを底って言ってますし，10メーター以上あるところでは，10メーターを底って言ってます。ですんで，本当の意味での底ではないかもしれません」

？　氏「分かりました。それと，それにからんで，行って戻ってくるって概念図があったと思うんですけど，その下に行ったものって，以外と弱くてですね，たぶん沖まで行ったらかなり戻ってくるまで時間かかるんですね。その間の餌環境っていうのはどうなんでしょうか，いいんでしょうか，悪いんでしょうか。すいません，良く聞き方分からないんですが　下に居るときどうやって餌を食べるかです」

黒田氏「基本的には，躍層の辺，躍層より上にクロロフィルはあるんですけども，デトリタスってことで考えれば，けっこう沈んだところにも，割と富栄養な湾ですので，まあ餌として不足ではないのかなとは思うのですね。ちょっと，定性的な話ですけれども：まあ，アサリにとって美味しいのは多分，上層にたまっているでしょうね」

？　氏「分かりました。ありがとうございます」

アサリ初期生態解明のための生化学的手法の利用

浜口　昌巳*

Immunological and molecular biological technique for identification of early life history stages short-necked clam, *Ruditapes Philippinarum*

Masami HAMAGUCHI*

Abstract Species identification is major limiting step in the study of early Life history stages of bivalves. Due to the morphological similarity of veligers, sorting large numbers of plankton samples by traditional methods is a laborious and time-consuming task. The use of monoclonal antibodies and indirect immunofluorecsence technique provides the means to rapidly discriminate among species. In 1998, we have developed the monoclonal antibodies to the clam. In this summary, I will describe the strategy about development of new monoclonal antibodies for settled juvenile clam.

アサリの初期生態解明のための生化学的手法の利用は平成７～９年度にかけて実施された農林水産技術会議計上の特別研究「魚介類の初期生態解明のための種判別技術の開発」で検討され，その結果，アサリ浮遊幼生の同定用モノクローナル抗体の開発に至った。この技術によって，これまで研究の隘路であった浮遊期のアサリ幼生の生態が解明されつつある。ここでは，本シンポジウム開催趣旨の項で述べたアサリの減少原因と考えられるいくつかの要因の中から，アサリの初期生態に関する事項を取り上げ，その解決のための新たな方針を示すとともに，生化学的手法の利用について述べる。

アサリの減少原因解明のために なぜ初期生態の研究が必要であるのか？

本来のアサリ漁業は干潟域に自然に発生した稚貝を用いて行われていた。国内に広く流通していたのも，国内で発生していた稚貝であり，それによってかつての生産量の大部分を占めていた。過去においては国内のいたるところで，アサリの幼生は豊富に供給され，それが着底して資源加入するというアサリの本来の生活環が成立していたと考えられる。いっぽう，アサリは発生初期の死亡率が高いので，常に大量の幼生が供給されないと資源加入に結びつかない。したがって，幼生の供給量が減少した場合，アサリの資源は減少する。著者らはこれまでに多くの共同研究者とともに，国内各地のアサリ漁場における浮遊幼生の調査を行った結果，再生産が比較的良好であると考えられる三河湾等の幼生の出現状況や量を他の海岸と比較すると，出現回数や量ははるかに多く，このことが三河湾のアサリの生産を支えていると考えられる。このような観点から著者らは「幼生や初期稚貝の供給量が減少したのでアサリは減少した」という仮説を立て，その実証のため研究戦略を構築しているところである。さらに，自然発生のアサリ稚貝を有効に利用できる方法が開発できれば，現在，一部外国に頼っているアサリの種苗の供給を自前でできるようになり，国内の沿岸域を有効利用した持続可能な生態系の構築も可能となるだろう。

アサリ幼生や初期稚貝を減少させる要因の推定と研究の進め方

いくつかの要因が考えられる。それぞれ箇条書きにすると；

1）初期生活期の餌の減少や捕食者の増加
2）海況の変化による幼生の滞留機構や着底場所を選択するための機構の崩壊
3）産卵母集団の減少や個体あたりの産卵量の減少
4）底質環境の変化

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

* 瀬戸内海区水産研究所（National Fisheries Research Institute of Seto Inland Sea, Maruishi 2-17-5 Ohno Saeki, Hiroshima 739-0452, Japan）

等があげられまる。1）については当面は実験的手法により，小型の植物プランクトンやバクテリアを含め，幼生や稚貝の餌についての評価が必要であろう。一方，2）については周防灘，有明海，東京湾といった単位での幼生の動態調査が必要で，水産総合研究センター単独では困難であるので，様々な研究機関が共同で，幼生や稚貝の時空間分布の変化や様々な海況構造を調べる必要がある。3）については生理学的見地から，室内実験等を加えて解明することができるであろう。さらに，4）については当面は浮泥が発生初期のアサリにどのような影響を及ぼすのかを，実験生態学的手法によって解明する必要があると思われる。

アサリの幼生や稚貝を減少させる要因解明のための研究戦略

1） アサリの卵形成過程の評価の必要性

近年，環境ホルモン物質等の影響が懸念される中，まず，幼生の前にアサリの成熟過程はどうなっているのか？を調べる必要がある。アサリにおける卵形成課程の評価は①アサリ雌一個体当たりの卵の数の評価と②卵質の評価に分かれる。①については定量的な手法，②については定性的な手法の開発が不可欠である。アサリ一個体が産む卵の数は様々な要因の影響を受ける。たとえば環境ホルモン物質の影響を考える場合，雌雄同体個体では当然のことながら一個体の持つ卵数は減少する。また，*Perkinsus*症のように生殖巣となるべきところに病巣をつくる感染症では，抱卵数は減少する。アサリのように初期生残が低い生物の場合，産卵数の減少は，その後の幼生数の急激な減少要因となる。したがって，アサリの産卵量の多寡はその後の資源加入に影響を及ぼすことになる。これまでの，アサリの卵の定量的検査は，生殖巣の組織切片を作成してその面積を測ったり，一個体の生殖巣を切開して出来るだけ卵を流出させ，その数を直接定量する方法等によって行われてきた。しかしいずれの方法も煩雑であり，多数の個体の処理は困難であった。Choi *et al.*（1993）はバージニアガキの卵に対する特異的な抗体を作成し，それらによる酵素抗体法（ELISA）によって，間接的にその個体の卵数を定量する試みを行っている。アサリについては，農林水産技術会議の「環境ホルモン」プロジェクトによって卵および精子の定量方法が開発されつつあり，アサリでも卵，精子それぞれに対する特異的モノクローナル抗体によって定量的調査が可能になると思われる。これによって，様々な要因について，卵数に及ぼす影響の評価ができるために，内分泌かく乱物質，*Perkinsus*感染症および餌料の種類や量による卵数の変化を調べることが出来るなど応用範囲は広い。一方，いわゆる良い卵・悪い卵といったような卵質の評価については，二枚貝の卵は魚類と異なり，卵そのものの成熟の過程が組織学的な検査によって判別できないので，卵の成熟過程を評価できる手法も望まれるであろう。これらの評価には卵黄タンパクの定量的検査や成熟に伴う卵の物質的な変化をタンパク質や糖質の質的・量的変化として捉えることが利用出来ると推測される。そこで，そのような変化を分子生物やタンパク解析によって調べ，卵質や成熟に関連したマーカーを見出し，その簡易定量法を開発することになる。一般に，遺伝子解析では近年のアレイや発現遺伝子解析によって定量的検査は可能ではあるが，特殊な技術や装置が必要であるので，普及には時間がかかると推測されるので，現状では抗体を使った方法が好ましいと考えられる。

2） 浮遊幼生の動態解明

既存の技術を使用することによって可能であるので，現在，様々な共同研究者とともに大規模な動態調査を実施中である。

3） 着底初期稚貝の動態解明

現在，アサリのあらゆる発育段階の調査の中で，最も困難が伴うのは殻長0.3㎜～0.5㎜程度の着底初期稚貝の時期である。着底初期稚貝の殻は脆く，ハンドリングに熟練を要するとともに，固定も困難である。加えて，着底初期稚貝のサンプリングは，一定体積の底質を採取することによって行われているために，稚貝と混入する砂や泥との分離が極めて困難である。そのため，一定面積中にパッチ状に分布するベントスの定量的調査を行うために理論的に必要なデータ数を得ることが出来ない場合が多い。また，アサリの着底初期稚貝でも足糸を利用して浮遊性の強いものにからみつくなどして，Bayne（1964）がムラサキイガイで報告したような再浮遊を行い，移動・分散するものと考えられる。アサリの稚貝は着底後もこの再浮遊機構や単なる物理的条件によっても移動しているものと推測される。しかしその動きは潮汐単位である場合もあり，着底初期稚貝の分布は刻々と変化することが予想されるので着底初期稚貝の動態を解明するための調査は比較的広い面積を対象に，かつ，統計学的に有意な結論を導き出すためには，多大な試料の分析が必要となる。そこで着底初期稚貝の動態調査への生化学的手法の導入は，大量の試料をいかに簡便かつ迅速に処理することが出来るか？が焦点になる。したがって，多種類の浮遊幼生の中からアサリのみをマーキングするといったようなアサリ幼生特異的モノクローナル抗体の開発とは異なり，比較的少ない種類の着底初期稚貝のなかからアサリの稚貝をどのように迅速に定量できるかが，手法開発の鍵を握ることになる。これによって，着底稚貝の調査の面積が拡大し，稚貝の分布に影響を及ぼす様々な要

因の解明が可能になる。これまでに，アサリ資源加入の研究の研究では，アサリ浮遊幼生の来遊量と着定量の関係について必ずしも一致しないと言われているが，その問題については今後，着底稚貝調査の面積の拡大や浮遊幼生のより細かなサイズ毎の調査によって再考する必要があると思われる。また，現在，堤らの一連のアサリ調査結果から導き出された“着底後まもなくへい死することによって減耗する”という結論についても，稚貝の移動・分散の詳細な調査を行うことによって，別の結論が導き出される可能性もある。したがって，今後，着底初期稚貝の簡易定量法を確立し，従来法では困難である調査の時空間的方向への拡大によって，着底稚貝の動態解明を行うべきではないか？と考え，平成15年度の水産総合研究センター交付金プロジェクトとして提案した。特に有明海のように潮汐流の卓越する場所での漁場形成においては，着底後の稚貝の移動・分布を詳細に検討し，資源加入について検討する必要があると思われる。たとえば，諫早湾口にある長崎県小長井のアサリ漁場では，他の地域からのアサリ種苗を用いて生産を上げているが，ここではある先駆的な漁業者によって稚貝の定着促進が実践されており，効果をあげている。この例では潮汐流によって常に移動する稚貝をどのように定着させるか？に絞り，簡単な構造物を構築し，効果をあげているがそのような構造物の効果を評価するためにも，着底後の稚貝の移動・分散機構を調べる必要がある。

稚貝の簡易同定法開発における技術的戦略

ここでは平成15年度の水産総合研究センター交付金プロジェクトのうち，feasibility study（以下FSとする）として認められた研究で実施する，アサリ稚貝の簡易定量法の開発にあたっての研究戦略を説明する。先の項で述べたように，稚貝の簡易定量法は稚貝の定量的調査を時空間的に拡大し，着底後の稚貝の移動・分散を詳細に調べるための技術開発を行う。これにあたっては，まず，アサリと同じ場所に定着し，かつ，着底期が重なる二枚貝とアサリとの識別と，迅速で手間もかからず簡便な方法による稚貝の定量化という二点を同時に実現しなければならない。アサリと同じ場所に同時期に出現する二枚貝稚貝のうち，最もポピュレーションが大きいと推測されるのがホトトギスガイである。アサリとホトトギスガイは分類上亜綱レベルで異なるために，着底稚貝は形態，遺伝子および発現タンパク質のいずれのレベルでも識別可能である。また，場所によってはシオフキ，バカガイ，マガキ等の稚貝も混入する恐れがあるが，これらとの識別は容易である。では，今回の技術開発のうちの問題点は何かというと底質の影響をどう克服するかである。これには，比重分離法によってサンプルに混入する底質を除去する方法と，一定のメッシュサイズの篩を通し，混入する底質とともに前処理を行って稚貝定量のためのELISA の系に持ち込む方法の２つが考えられる。二枚貝類稚貝の比重分離法については今回の FS で技術的に協力をお願いする養殖研究所の日向野さんがすでに開発した手法の利用が考えられる。この方法は安価な試薬を用いた簡便な方法であり，実用性は高い。野外で採取した試料はまず比重分離か，一定のメッシュサイズ（今回対象とする着底初期稚貝のサイズは0.3～0.5㎜なので，それに見合ったサイズを選択する）の篩によって濾して通過画分を回収し，ホモジナイズあるいは化学的な処理によって抗原を抽出し，それをELISAによって分析し，あらかじめ求めておいた検量線によって定量とする。この場合，今回用いる予定のELISA の各段階での反応時間を考慮すると，一回の作業は前処理を含めて三日単位が必要で，その間のサンプル処理能力は，現在の瀬戸内水研であればホモジナイズ法であれば約30定点，化学抽出法であれば60定点程度と推測される。これは，比較の対象によって異なるが，不肖著者自身の能力と比較すると，比重分離法を使わない従来法と比較すると十倍程度の早さに相当する。ただ，ELISA 法による定量は，従来法と異なり，抗体の反応時間中は他の仕事が可能であり，一日中顕微鏡下で泥や砂と稚貝をより分けて計数しなければならない従来法よりはるかに上である。したがって，この技術開発によって広範囲にわたる稚貝の移動分散調査が可能となり，着底から資源加入にいたる過程の調査ができるようになると思われる。

今後の展望

生化学的手法を用いた新しい技術開発によって，これまでに解明されずに残されている，アサリの成熟過程における環境ホルモン物質の影響等が解明され，その実態が明らかになるであろう。さらに，幼生や稚貝を減少させた要因の解明が進み，アサリ資源回復のための方針を立てることができるようになるものと推測される。

文　献

Bayne, B.I., 1964: Primary and secondary settlement in *Mytilus edulis* L., *J. Animal Ecol.*, **33**, 513～523.

Choi, K-s., Lewis D. H., Powell, D. H., and Ray, S. M., 1993: Quantitative measurement of reproductive output in the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Aquaculture and Fisheries Manage-*

ment, **24**, 375～398.

質疑応答

司　会「ありがとうございました。それでは，意見やご質問等ございますでしょうか。これからこういう形で調査手法の改革をしていくという意見表明という感じで」

浜口氏「そうですね，いくつかまだアサリで調べたい部分があると思うんですけれども，その辺のところで，現在できないようなところっていうのを，そういう生化学的な技術をつかうことで出来ればいいなっていうのがひとつあります」

司　会「いかがでしょうか。ご質問，意見等。あのちょっと無い物ねだりというか，ああ，どうぞどうぞ」

黒田氏「愛知水試の黒田ですけど，けっこうしょうもないことなんですけど，さっきの稚貝のELISA やるときに，泥と分離するのがまず必要だっておっしゃいましたが，分離しないでもできちゃうってことはあり得ないんですか」

浜口氏「出来ると思います。実は，浮遊幼生の調査では，あまり使われてないんですけれども，全然分離ぜずに，そのままプランクトンネットで採取した試料を二枚貝だけ取らずにそのままホモジナイズしても，かなり高い定量性があります。」

黒田氏「ですよね，だから泥があってもいいのかなって気がします」

浜口氏「ええ，多少はですね，今ひとつ考えてるのは，メッシュですね，簡単な粗いメッシュかけて，それを通った奴をそのままELISAに持っていく，あるいは泥ごとつぶしてELISA に持っていくことも可能かっていうふうに考えております。」

司　会「他にございますでしょうか。あの，今のお話しでは，試料をホモジナイズしちゃいますよね，そうすると着底初期のやつっていうのは，個体ごとのサイズを測ったりしたいのですが，それは分かりますでしょうか」

浜口氏「そうですね，その場合，それはちょっと困るんですけれども，例えばあの，コアを取るときに同時に，二カ所分の試料を採っておいて，ひとつは固定して，もうひとつはそういったELISA でさっとソーティングして，多そうな所だけで，残りの試料で個体数やサイズを測るといった風にしたいなと思ってるんですね。というのも，浮遊幼生と違いまして，着底稚貝になりますと，貝殻が形成されてきますので，浮遊幼生みたいに直接，蛍光抗体を反応させてるとですね，貝殻が邪魔になって見えないのですね，それがあって今回，ELISA ってのを提示したのは，そういう意味合いもあるんです。ただ，多分ですね，その着底稚貝を継続的に調査するには，相当なサンプル数をこなさないといけないと思うので，そういったサンプル処理能力を考えて，エライサーと従来法っていう組み合わせを今回，提示したという過程があります。」

？　氏「浮遊幼生の蛍光抗体を使うのとちょっと違い，着底後以降は蛍光が見えづらいということですけども，相当透明に見えるんですけども，それはどうなんでしょうか」

浜口氏「確かにそうなんですけど，蛍光顕微鏡で見ますとだいぶその，炭酸カルシウムがはいってるとですね，多分この透明光が拡散されちゃうんですね，それで見にくいですね。実はこれ，試してみたんですけど，やはりすごく見にくい感じでした。着底初期稚貝は一見，見てみると透き通ってるし，着底ごく初期は大丈夫だと思うんですけど，ちょっと石灰がかって，炭酸カルシウムの結晶化が進んでくるとちょっと見にくいですね。」

コメンテーターの総括（セッション2）

灘岡氏　「午後のセッションでは特に浜口さんのモノクローナル抗体による幼生判定技術の話を起点として，日向さんとか，大規模な調査の話が最初にありました。で，そういったことですごくその，大きなブレイクスルーがあったんだなっていうのは，非常によく分かりました。で，一方で，お話を色々細かく聞いていると，かなり基本的な部分の情報がまだ分かってない部分があるんだなと，例えば，今回，浮遊幼生のところに焦点が当たっているということなんですが，その，遊泳速度をどの程度持つのか，どの段階で，どう持つのかっていうことも実は，あまりまだよく分かってない。で，間接的に推論してる段階であるということ，あるいは，比重，幼生の比重がですね，どうなのかっていう，もの凄くシンプルなことも，なんか良く分かってないようですね。そこら辺がちょっと意外でした。私，実はここ数年，沖縄を中心としてサンゴの研究で随分，はまってるもんですから，そちらの方のイメージとこう比較しながら話を聞いててですね，サンゴの場合はもう非常にはっきりしてて，ご存じのように沖縄の場合ですと大潮の2，3日後に一斉産卵すると，で，そのあとバンドルって言いまして，まあ，放卵放精型の場合ですけど，バンドルと言いまして，卵子と精子と後，脂質？が混じったものの固まり，一見，卵と言ってるのはそのバンドルなんですけれども，それがあの要するに，比重が軽くて，最初ずーと浮いていって，バンドルがはじけて，他のコミュニティーからのバンドルがはじけた卵子精子と混ざって，それで幼生になる。で，プラヌラ幼生っていうものになるんですけれども，それがあの，まあ長距離浮遊拡散して，そのうち脂質も段々消費してって，一週間くらいしてくると，今度は，探査行動を始める，というようなパターンなんですね。そういったことから考えると，何か特に最初の部分のあたりが良く分かっていないんだなあっていう感じを非常に持ちました。それと，今日，まあ直前の浜口さんのお話にもありましたけれども，モノクローナル抗体技術ってものが出来てかなり初期の段階も，追えるようになったということなのですが，最初，生殖段階，受精段階の話っていうのが，今日はあまり聞けなかったんですよね。またサンゴの話に戻りますけども，サンゴの場合には，1998年の夏場にですね，世界規模で，サンゴの白化現象ってのがおきました　これはあの，世界的なあの，海水温の上昇による，高水温というストレスによるもので，サンゴってのはご存じのように，共生藻を持ってまして，褐虫藻っていうんですけども，そこからエネルギーの大半をもらっているんですが，高水温ストレスを受けると，それが抜け出すんですね。で，真っ白けになります。それを白化と言っているんですが，それが数週間以上続くとそれが本当に死んでしまうということなんですが，で，かろうじて生き残った奴もですね，実は翌年以降ですね，要するに弱ってる訳ですね，親が。で，生殖率がうんと下がるという報告があります。そういったことで，その生きてるか死んでるかっていう生残率っていうのは，そういう指標で随分議論されてましたけど，やはり元気度っていうんですかね，どれくらいへばってるかとか，そういう指標が仮にあるとすれば，そういうものに更にプラスアルファーのストレスがかかったら更にやられやすいとかですね，多分，そういうことがあるんだろうと思うんですね。今の生殖の話に戻りますけれども，明らかにさっき言ったように，白化で生き残ったけれどもストレスを受けた奴は，そういったことで生殖率，受精率が悪くなるんですね。で，要するに子孫を残していくということが，ある。アサリの場合はよく知りませんけれども，そういう一番最初の所をもうちょっと聞けたらなあという気がしました。

それと，親のですね，サンゴの場合，親の生殖腺の発達っていうのがですね，環境ストレスを受けていると，閉じたりするんですね。沖縄の場合はあの，赤土っていう，要するに陸域からの表層土壌流出がけっこう問題になってて，それがサンゴにたまる。そういう赤土の環境ストレスがあるところは，このだいたい5月6月が産卵時期なんですが，そこに向けて生殖腺が段々段々熟してくるんですけども，ストレスが大きい所は，それがちゃんと熟していかないんですね。だからそういうふうな子供を作る能力って言うものが，環境ストレスの影響を受けるので，一番初めの受精のところをもうちょっと

聞けたらなあという気がしました。いずれにしてもそういうふうなことを，が，あるんですけれども，あともう一つあの，後半の方のお話で，浜名湖の方のお話を聞かせて頂きましたけれども，例えば，細粒分の底質のですね，細粒分の割合が結構，効くんだっていうような事が出されていましたが，もうちょっと定量的に，今度は議論が聞けたらなって気がしますね。つまり，統計的に処理するところでしたっていうのは，よく分かるのですけれども，何故かという話と，それと後，もう一つスレッシュホールドとして，どれぐらいを超えるとダメなんだっていうような議論ですね，要するに定量化して頂きたい。要するに重回帰分析って言うのは，因果関係を押さえる一つだと思いますけれども，結局，何がどれぐらい超えるとダメなんだっていう話をもうちょっと突っ込んだ話になるかと思うんですね。そういうふうな所を期待したいと思います。で，まあいずれにしましても，かなりあの，皆さん口を揃えて複合的な原因がありそうだということをおっしゃるのですけれども，それを定量化していくためにはどうするかっていう，戦略論をですね，やっていかないと，なかなか多分同じ事をずっと言わなきゃいけなくなるので。で，ひとつはやっぱり，モニタリングというか，観測の，何ですかね，プロジェクトとして，非常に集中的な，重点且つ総合的な調査を組むと。で，できれば二つ三つ重点サイトを設定して，そこで，かなり集中的な観測をやるということが一つですし，で，もう一つは，重点的と言ってもそれは，割と端的にやらざるを得ないということ。もう一つ、それだけじゃカバーできないものとしてはやっぱり、長期継続的に，あるいは全国的に，空間的に広い範囲，時間的に永い継続時間の範囲でどうなっていくのかっていう全体を網羅したような話ということが必要で，それはなんか，多分，研究者だけではカバーできないような話なので，漁業者の方にもご協力頂いて，先ほど，浜口さんがちらっと言われてましたけれども，例えば最初はなんか，要するに漁業者の方は，しょっちゅう海を見ておられるから，モニターされてる訳ですよね。だから，聞き取り調査を全部まとめるっていうところから，入ってもいいかなとも思いますが，そこからもう一歩突っ込んで，なんかこう，標準的なプロトコルのようなものを，例えば浜口さんあたりが提供されて，そういうものでもっと突っ込む。いずれにしてもその，ネットワーク，モニタリングネットワークっていうものを，ちょっと作り上げて行かれると，かなり，そちらの方でも新しい展開が出来ていくかな，ま，要するにモニタリング，環境問題って言うのはモニタリングが基礎ですから，それを縦糸，横糸でですね，一つは非常に重点的に集中してやるっていうモニタリング。もう一つは広く，こう横断型で，且つ永く続く，そういうモニタリング。そういう縦糸，横糸で，こう展開されていくといいのかというふうに思いました。以上です」

司　会　「ありがとうございました。それでは日野先生お願いします」

日野氏　「東京大学の日野でございます。午前中のセッションと重複するような部分があるかもしれませんけど，ひとこと感想を，コメントを述べさせて頂きたいと思います。あの今，灘岡先生からサンゴの集中的な研究が世界中で進んでいるとご紹介がございましたけれども，やはりサンゴっていうのは地球規模での気候変動というようなことの象徴的な生物であるというようなことで，多数の注目を集めていると思います。で，アサリもやはり，これは風呂田先生のお言葉だったと思うのですけれども，沿岸で何が起こっているか，っていうようなことを象徴的に表しているということ，ま，それは我々人間活動の場所に近いということと，ベントスであって動かないというようなことがあるのだと思うのですけれども。沿岸資源の変動，あるいは長期的な変動というんでしょうか，傾向，そういうものを，僕らは語っていく中で，やはりアサリっていうのはかなり，シンボリックな存在かもしれないなって意識を強く持ちました。その中で，細かく，今日，話を色々頂いた訳ですけれども，浮遊期から着底期への，間のお話を頂いたわけですが，まず最初の東京湾での分布，移動というものを，これをモデルにシミュレーションでご紹介して頂きましたけれども，その中で，浮遊，まあ遊泳であるとか，それから沈降についての生物的な情報が、欠けたままモデルを作りましたっていうイクスキューズがございましたけれども，私はやはりこういう，あの，研究，まあ，我々生物側から見れば，独断型の研究というんですけれども，それに対して私たちが，幼生の飼育を通じて分かってくる環境条件であるとか，変体，生活史であり，そういうような

積み上げ型の研究の両方がある中での独断型？それから積み上げ型っていう両方からの行き方ってものが，接点を探していくってのは大変重要なことではないかというふうに思いました。大変，歓迎，個人的には歓迎する気持ちで拝聴致しました。また三河湾でのお仕事の中では，かなり，それに対して生物学的な説明がつくお仕事を展開してくださったと思います。発育後期の浮遊幼生が，かなり深いところに分布する。それがまた干潟に進んでくる，浅いところに移動してくるというような研究結果，それから着底が干潟の縁辺部，浅いところに着くというようなことも，大変，今まで分からなかった部分をご紹介頂いたんですけれども，これは今後の調査論，スタンダードメソッドを作っていく中で，なかなか重要なことになると思います。実は私たち，アサリの仕事をするときに，いったい水深何メートルまで泥採って調べればいいんですか，っていうのは学生からよく出る疑問なのですけれども，ま，そういう中で，調査論を確立して頂くというなかで，非常に貴重なお話ではないかというふうに思います。で，着底機構についても，ま，一番ブラックボックスがはじめの所にあるわけですね，0.2ミリから１ミリぐらいの所なのでしょうか，一番研究が抜けている部分だと思うんですけれども，まあ，我々の仲間ではございますが，今中の方の仕事が，干潟っていっても水平的に，ごく短い距離の中でも随分，ミクロの環境の違いがあるということ。それから稚貝の分布が随分違って来るというような話がございました　これもやはり，我々があまり言葉の定義をさせないで，干潟であるとか，言葉を使っておりますけれども，そういうものについても，注意をしなければいけないのではないかと，いう指摘ではないかというふうに思います。例えば，今日の午前中と午後のセッションで，お話を伺っておりましても，どうも，干潟っていう，質問，あるいは講演のかたが，干潟と一言でおっしゃるけれども，イメージしているものはみんな違うんじゃないかっていう，感じが致しました。で，当然，河口干潟というものもあるし，それから内湾のサンドフラットみたいな干潟っていうものもございます。浜名湖には河口干潟はございません。我々，干潟って言っているのは実は，サンドフラットのようなところでございます。そういうところのデフィニションをしないで言葉を使ってるってことも問題だと思いますし，それから，干潟って言うのは本来，潮間帯にあるはずなんですね。ところが，干潟で潮間帯って，亜潮間帯で，潮の下の所まで含めて干潟とおっしゃっている方がいらっしゃる。そういうところも，海洋学の方はよく知ってると思うんですけれども。」

アサリ研究に望むものと沿岸生態系の現状

菊地　泰二*

Some comments on recovery on the manila clam resource and present state of inshore ecosystem

Taiji KIKUCHI*

Abstract

The annual yield of the Manila clam in Japan decreased in recent years but the cause of mortality is unclear. To analyze the long time decrease of the clam, both studies on habitat conditions for both juvenile and adult clam, and studies on settlement of pelagic larvae in adequate habitats, and recruitment of benthic stage. To estimate the size of stock population and stability of recruitment and young immature shells, the author proposed establishment of marina reserve. In sand flat of Ariake Sea, the smallest legal fishing size of the clam is nearly with the minimal size reproduction, and most them were caught before or just after the first reproduction. It seems important to guarantee the seed source adult population. The importance of filter-feeding bivalves to the purification mechanism of eutrophicated inshore ecosystem was pointed out, recovery of manila clam resource from the aspect was expected.

Key words: manila clam, critical life stage, resource management, inshore ecosystem

著者は長年海岸，浅海のベントスの個体群，群衆の生態を研究してきたというので，このアサリに関るシンポジウムにお誘い頂いたと思うが，アサリの資源生物学を研究したことも，特にアサリの生態についての研究に専念した経験もない。有意義なアドヴァイスができるかどうか自信はないが，敢えていくつかの観点に触れて私見を述べてみたい。

アサリ資源回復をめぐる諸問題

アサリの生態学については，故倉茂英次郎氏が 1930～1940年代に現在の韓国で行った先駆的な業績（倉茂 1943, 倉茂遺稿, 松本編, 1957）で，生息環境に関する項目として，生息場所の勾配，各地点の冠水時間（摂食及び呼吸時間），地盤並びに土質の安定性，海水中の浮遊土量，海水流動の関数としての潟土の粒度組成，潟土の滲出量（保水量）が検討されている。以後おそらく千を越える論文や調査報告が公表されている。いずれも実地の調査や実験に基づく結論や予測，有益な情報を含んでいると思われるが一般論として最適生息条件を定義するには至っていない。

1）アサリ資源の長期衰退傾向を説明する原因究明の難しさ。熊本県のり研究所及び平成2年度以降その業績を継承した熊本県水産研究センターは，県内各干潟におけるアサリの突発的大量死の原因調査の結果を発表しているが，梅雨期や台風襲来時の豪雨による土砂堆積，塩分低下が原因と見られるもの以外はほとんど原因不明とされている。

同センターの中原，那須（2002）は，アサリ資源について過去の干潟の資源状態に関する定期的調査を実施してないため，過去の資源状態については漁獲量により推定するほかないが，資源量と漁獲量の相関は不確であることを指摘している。その理由として，アサリ採貝業は干潮時に人力で漁獲するため操業可能な日数および時間

2004年1月15日受理（Received on January, 2004）

*　九州ルーテル学院大学（Kyusyu Lutheran college, Kurokami 3-12-16, Kumamoto, 860-8520, Japan）

は干満によって限定されること，１人１日あたりの漁獲量制限が漁協ごとに行われているため，アサリの漁獲量は資源量ではなく人的要素によって決定されることになり，特に漁獲量制限が厳しい漁協では漁獲量の変動は資源変動を反映した指標とはなり難い。中原，那須（2002）は類推の域を出ないがと前置きした上で，“干潟の形状や影響する河川の性格，地区の漁業者のアサリに対する依存度，漁獲スタイルといった地域の特色に加え，猛暑・冷夏，大雨・少雨，台風等，年毎，地域毎に異なる自然条件，漁獲環境の悪化や害敵生物による食害等，これらの様々な要因の複雑な組み合わせによってアサリの斃死は発生しており，年毎，場所毎に主要因が異なっているのではないかと考えられる”と述べている。

これは大変率直な表現で，実際年毎，場所毎に死亡要因，被害の程度は異なるのであろう。特に大きな川の河口干潟の場合集中豪雨や台風通過の大量の淡水流入や土砂の移動堆積は大きな被害をもたらすことは理解できる。しかし，ある程度に成育した貝が突発的な淡水希釈や土砂による埋没によって大量斃死する現象は，漁獲量の長期低落傾向が続く最近の十年に限らずずっと前から生じていたはずで，漁獲量（不明確であってもおそらく資源量も）の長期低迷の原因とは考えにくい。有明海に比べ1980年代にははるかに水域全体のアサリ漁獲量が低かった愛知県の三河湾沿岸や静岡県の浜名湖では，年による変動はあってもその幅が狭く，現在も年額１万トンを越える水準を保っているのに対し，有明海，あるいはその中でアサリ漁業の主生産県である熊本県の低落ぶりは特に著しい。

アサリ資源衰退の原因を探る視点を求めて

自分が直接研究に参画していないので論評するのは心苦しいが，有明海全域の，あるいは日本全国のアサリ資源の長期低迷傾向を考察する場合には，もう少し基本的な観点で焦点を絞って考察する必要があるように思う。

第一は現在のアサリ個体群において，生活史のうち，浮遊幼生期，変態期，初期稚貝期，未成熟若齢期，成貝期のどこに資源減耗の一番危険な時期であるかを評価できる情報を得ることである。漁獲サイズ，あるいはそれに近いサイズになってから不時の豪雨により河口干潟で起きる大量死滅は，漁民にとって目前の漁獲対象の喪失なのでそれに関心が集まるのは無理もないところであるが，どのような原因で個体群が長期低落傾向に陥っているのか，漁獲可能サイズだけに目を奪われないことが必要である。

１）幼生の絶対量として変態前の成熟幼生は適切な成体の生息場所である干潟域の周辺に充分な量供給されているのだろうか？この幼生供給の問題は，従来重要性は指摘されながらも，水中の幼生採集と対象となる種の幼生を識別，計数する労力の大変であることから，具体的成果は少なかった。濱口昌巳氏によるアサリ幼生のモノクローナル抗体による識別法は幼生の定量調査に大きく貢献するもので，今回のシンポジウムでは，東京湾におけるアサリ浮遊幼生の動態（粕谷），東京湾におけるアサリ幼生の移流過程の数値計算（日向），浜名湖におけるアサリ幼生の干潟への進入機構（黒田）などの研究が発表された。有明海においては，すでに Ishii *et al.*（2000），石井，関口（2002）が実地調査の結果と同時にその問題点についても論じている。それによると殻長1㎜以上の貝の密度と浮遊幼生の密度の間には高い相関があり，望ましい状態に対して着底期間近の幼生密度がかなり低い菊池河川口の滑石漁場と緑川河口の川口漁場を比較すると，アサリ漁が壊滅状態にある滑石では幼生密度が特に低く，親貝世代の過少が幼生供給の低下を招いている。川口漁場の場合は親貝個体群がある程度残っていることが幼生供給に役立っていると同時に，干潟域周辺の流れに幼生を干潟域に集めるのに有利な機構があると推測している。

２）加入直後の幼稚貝の時期までには順調に成長していたのに，漁獲可能サイズになるまでのある時期に激減するとすればその時期の主要な死亡要因は何なのか？地道な定量採集努力とサイズ構成の推移資料が得られれば，基本的な個体群生態学の手法での解析が可能になる。ただし，それが成功するには，自然状態での個体群の推移と漁獲圧力で密度やサイズ組成に歪みがかかった状態を区別し，比較できることが必要である。ある程度の禁漁区を地元漁協，採貝漁民との話し合いによって設定できることが望ましい。不漁に苦しんでいる漁民にはこれを提案するのは非現実的だという批判があることは当然予想できる。だがここで母貝が一生に一回産卵する機会があるかについて考えてみたい。アサリは暖かく成長の速い南日本では満１年で成熟し産卵に参加するが，東日本になると産卵可能になるには２年といわれている。以前は，西日本では資源形成に貢献しているのは秋季発生群であるとされていたが，最近の研究（Ishii *et al.*, 2001b, 石井, 関口, 2002, 堤ら, 2002）で春と秋に２回断絶した繁殖期があるというより，その間に数回の産卵，浮遊幼生の出現が見られるが，ある年生まれの個体群の主力を形成するのは熊本県の場合，初夏産卵の幼生であることが確かめられている。アサリの生理的寿命は４～５年とされ，３回ないし４回は産卵期を持てるはずである。熊本県の場合最小漁獲サイズは貝が繁殖可能になる殻幅12～14㎜以上と定められており，春期発生群の場合満１年でこのサイズに達し繁殖可能になる，とされている。緑川

河口干潟A漁協では殻幅13㎜以上の貝を４月から漁獲対象として許可しているが，春～初夏発生群が満１年を迎える５月が漁獲のピークであり，９月まででその年のアサリ漁は終了する。A漁協における2000年の漁期１日当たりの漁獲量の推移を元に初期資源量を推定した中原は，資源量の98%がこの時期に漁獲されていたと推定している（中原，未発表，中原，那須，2002の文中より引用）。このような資源利用では，１回繁殖当りの産卵量が飛躍的に増加する満２年以降も寿命を保ちながら資源存続に役立つ個体はほとんどないことになってしまう。アサリ資源を満１年で毎年ほぼ採り尽くしてしまう現状は瀬戸内海でもほぼ同様であることが，今回のシンポジウムの席上で漁業者によって語られた。熊本県の場合，漁民の中にも資源管理の意識が芽生え，採り尽くす漁業を改めるため漁獲量が減少し始める８月末で漁期を終了させる漁協も出てきた，と中原，那須（2002）は言及している。これは秋季繁殖へ貢献する母貝群を保護するという意味であろうが，それよりは，各漁協管理の漁場内に1haずつでもすべての漁獲を停止する禁漁区を設けることができれば，資源維持に役立ちまた個体群の変動解析の場として役立つ，と思うのは漁業の実態を知らぬ者の空論であろうか。

第二は，以前好適であったある地域の漁場の環境があきらかにアサリにとって不適に変化したという場合の原因解明である，干潟表面の堆積物や粒土組成や砂泥の硫化物濃度に変化はないか，減少したのはアサリだけが特異的に化したのか，他の二枚貝や異なる分類群のマクロベントスも減少しているのかという点である。熊本県内の有明海砂質干潟の場合，アサリだけでなく有害生物として漁民に嫌われているホトトギスガイや小型のマガキ，多毛類の生息密度も減少しているようである（九州農政局，諫早湾干拓事務所，浅海生態系変化追跡調査 1988～2002+）。以前は各地に生息していた濾過食性巻貝のイボキサゴも現在は死殻をみることも稀になった，近年，沖合いの海底粗砂を干潟上に覆砂するとその場所だけアサリが生存，成長することが解ってアサリの漁場修復の手段として覆砂事業がおこなわれるようになった。熊本県立大学の堤ら（2002）によると，干潟の自然砂域では殻長5㎜以下で死亡した双殻そろった稚貝が多数発見されるが，覆砂域ではこの初期死亡が少ないこと，覆砂後３年経つと覆砂の効果がなくなってくることが解ってきたという。干潟表面の堆積物が以前に比べ泥分が多くなったとは各地で聞くが，以前から泥混じりの場所にもアサリが生息している場所もあり，粒度組成の変化だけで稚貝の死亡がそれほど多くなるものか化学物質の関与を想定した研究も行われているがまだ原因となるような物質は検出されていない。熊本県では，アサリ資源の保護・増殖対象事業として，覆砂（盛砂）事業，耕うん，着底促進施設設置，害敵対策などを実施している。その効果のせいか，2001，2002両年は久しぶりにアサリの漁獲量は向上した。筆者が関係している有明海の干潟ベントスの長期モニタリング調査でも，現在整理中の2002年夏の資料では過去十年見られなかったほどアサリの個体数，重量とも高い。覆砂域以外でもとれているようだが正確な位置については未確認である。漁民は非常に喜んでいるが干潟全域で生息量が増加したのか，堤ほかが報告した天然干潟の砂でアサリ稚貝の死亡率が高いこと，一度覆砂をしても両三年でその効果がなくなることの内容は未解決である。化学的な解明にはまだ時間を要するであろうが，覆砂には経費も必要であり，有明海中央部の海砂を大量に採取することは他の漁業への影響も懸念されることなど，覆砂が有効であるにしても問題は残る

第三は生物種間相互作用による悪影響の可能性である。

1）穴居性甲殻類による生物撹拌作用　直接アサリを補食したりするものではないが，砂中に垂直な坑道を掘り，砂を絶えず排出する生物拡散作用によって砂の締まり方を緩め，多くの内生マクロベントスの生息に有害効果を与える生物にスナモグリ，アナジャコがある。有明海，八代海の干潟では1980年代前半有明海内の干潟ではニホンスナモグリ*Nihonotrypaea japonica*が，有明海湾口部及び湾外の天草下島の富岡湾では近縁種ハルマンスナモグリ *N. harmandi*が急激に分布域を広げその悪影響が疑われてきた。富岡港における濾過食の小巻貝イボキサゴがハルマンスナモグリ（論文公表時にはニホンスナモグリとシノニムとされた前者の名が用いられている）その急激な増殖によってはほぼ完全に絶滅する過程が玉置によって記録されている（Tamaki, 1994, 玉置，2000）。ただし，現在の有明海のアサリ不漁はニホンスナモグリの分布域より広がっており，直接の関係はないようである。アナジャコ *Upogebia major*については1980年代半ばにアサリの漁獲量が減少し始めたころ，熊本県のり研究所でアナジャコの密度が高い場所にアサリを移植すると，成体は生存するが，幼貝（殻長10㎜以下）は死滅することが認められ，アナジャコの駆除をめざしてその生活史と生態を研究したことがあったが，駆除法は発見するに至らず３年で打ち切られた。

2）寄生虫　寄生虫については，*Perkinsus*原虫の日本国内におけるアサリへの感染率を調べた濱口ら（2002）によると，有明海は対馬，五島，西瀬戸内とならんでもっとも感染率が高い。中国，韓国からの生貝の輸入も多く，一時的に地元での蓄養も行われているようで感染率の上昇も危惧される。ヨーロッパではポルトガルからスペインに持ち込まれたアサリのごく近縁種 *Tapes decussata*が寄生虫*P. atlanticus*に感染していたのが原因で *T.*

*decussata*の大量死が起こり，壊滅的打撃を受けたと伝えられるが，日本でのこの寄生虫の感染により具体的にどのような悪影響が起こり得るのかまだ明らかでない。

3）捕食者　従来補食性腹足類としては，後鰓類のキセワタ，中腹足目タマガイ科のツメタガイ，ゴマフダマ，などの食害に言及されるがアサリ資源に大被害を与える実例は明らかでない。最近話題となっているものに，亜熱帯性の大型エイ，ナルトビエイによるものがある。この大型のエイが群をなして来遊すると食害の影響も大きいことが報じられているが，漁場の砂上にエイの着底を妨げるビニール紐を張りめぐらすなどの手段をとるしかないようである。生息環境の影響についていえば，解析的に，個々の環境要素とアサリの分布，成長，生存との関係を検討する，あるいは環境諸条件の間の一次要因とそれに伴って生じる二次要因との関連，アサリに影響する過程の解明がある。例を挙げれば，内湾内の埋め立て工事や突堤延長が局地的な潮流や干潟周辺への波あたりに変更を生じ，アサリ生息域の堆積と浸食，底質粒度組成の変化，浮泥沈積が酸素不足を通じアサリの生残率，成長に影響する，などという環境変化の中の因果関係の解明が挙げられる。

干潟生態系の浄化機能とアサリの重要性

日本の閉鎖性の強い内湾の多くは近年陸上から流入する窒素，リンの負荷の増大によって富栄養化し，特に夏期には赤潮が発生し，あるいは海底に広大な貧酸素域が出現することが目立つようになった。一方干潟とその周辺域の沿岸環境については，埋め立てやその他の開発行為によって面積が減少しつつあるだけでなく，残った干潟部においても25～30年前に比べて，生息している底生動物の種の多様性，現存量共に減少傾向を示すところが多い。

干潟の浄化機能をめぐる議論は1980年代から盛んになり，日本では「潮間帯周辺海域における浄化機能と生物生産に関する研究」という水産庁のプロジェクトが三河湾一色干潟を研究対象水域として，当時の東海区水産研究所と愛知県水産試験場の人々によって行われた。干潟周辺海域におけるN，Pの収支，無機化，脱窒，あるいは有機生産物としてのN，Pの干潟，極浅海生態系内への貯留と系外除去の機構，量としての移動の推定値が示された。ついで，東京湾の千葉県盤津干潟において同様の研究がなされたが，両研究で明らかになったのは，干潟のN，Pの浄化の大きな影響力をもっているのは干潟に生息する濾過食二枚貝，もっと端的に言えばもっとも多産し漁業対象として漁獲されるアサリの生息量と摂食量だということであった（佐々木，1989，2001）。三河湾では，その後も愛知県水産試験場の鈴木輝明氏ほかのグループが，干潟生態系における物質収支に関する研究を行っている（鈴木ら，2000）。海外では Cloern（1982）が，アメリカ太平洋岸のサンフランシスコ湾において，北湾でしばしば赤潮が発生するのに，浅瀬が広い南湾では，日本からの移入種のアサリとホトトギスガイに土着の小型二枚貝マメツブガイ*Gemma gemma*が大量生息し赤潮が生じないことをとりあげて，濾過食二枚貝が大量存在する海域ではその濾過摂取によって赤潮に至らぬレベルにプランクトンの増殖が抑制されるためであろうと推論した。Officer *et al.*（1982）は同様の観点から理論的考察と収支試算を行い，中小型の濾過食二枚貝が極浅海部に高密度でかつ広域に分布するという条件を満たすなら，窒素とリンが高い濃度で存在するにも拘わらず植物プランクトンの密度が赤潮状態に達しないことの理由と成り得ると述べている。そのほか，NATOの高等学習ワークショップのひとつとして外生型二枚貝のイガイ礁とカキ礁，干潟内在型の二枚貝などの濾過食二枚貝が河口域や浅海の生態系内で果たす役割を重視した会議が開催され，成果は大きな本になった（Dame *et al.*, 1993）。さらに，その本の編著者だった米国のR. F. Dame は，“Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach”という著書（Dame, R. F., 1996）の中で二枚貝の植物プランクトン摂食が大発生抑制に果たす役割を評価した世界各地の対象水域についてのその効果評価をおこなっている。

閉鎖性の強い内湾生態系の富栄養化抑止の問題に関して，アサリ及びその他数種のもっとも普通な濾過食二枚貝がある程度貢献していることはおそらく確かなことだろう。その影響力は，濾過食二枚貝の生息適地面積と貝のサイズ，生息密度によって決定されるであろう。日本の干潟面積は1960年代に臨海工業立地造成のため大きく埋め立てられたが，それ以後は諫早湾干拓を例外として，かなり抑制されている。しかしそこに棲むアサリその他の中型の懸濁物食二枚貝の密度は全国的に低落傾向を続けている。アサリは原因不明のまま減少を続けており，そうなると，富栄養化対策としての濾過食者の摂食量やそれ自身が人に漁獲されたり，水禽に補食されるための系外除去もまた低く評価しなければならない。九州の有明海の干潟面積は現存する日本の干潟の約4割にあたるが，1970年代前半から1985年まで，年間漁獲量で2万トンを越える豊漁を誇っていたアサリは，千数百トンにまで減少してしまった。このように存在するアサリの量が激減すると，内湾生態系の物質循環の速度，貝の肉体部の成長，肥満による一時的貯留，漁獲による系外への放出といった機能も著しく減退することが容易に推測される。

要　約

アサリ資源の長期低落傾向の原因のひとつとして，生活史のうち，もっとも環境の影響を受け易い時期の認識，有明海の場合，干潟漁場に集積される着底期浮遊幼生量の確保，変態後の殻長5㎜以下の小型種貝の死亡リスクの解明に着目した。毎年着底し成長するアサリの大部分がただ1回の繁殖期に参加するかどうかの1年間の寿命で漁獲されている現状がかなり資源存続に過酷なものであることを考慮し，漁場内に禁漁区設定を行う必要性について論じた。また，閉鎖性の強い内湾の富栄養化防止に関し，濾過食二枚貝の個体群が大量生息していることが重要であることを強調した国内，海外の研究例に言及し，アサリ資源がある水準以上の密度で存続することの意義について述べた。

文　献

Cloeren, J. E. 1982: Does the benthos control phytoplankton biomass in south San Francisco Bay? *Marine Ecology progress series*, **9**, 191-202.

Dame, R. F. ed., Bivalve filter feeder in estuarine and coastal ecosystem processes. NATO ASI Ser.G., Ecological sciences, vol. 33. Springer Verlag, Berlin, Heiderberg, New York, Tokyo, 580 pp.

Dame, R. F., 1996 : Ecology of Marine Bivalves : An Ecosystem Approach, CRC Press, Boca Rayton, Florida, 254 pp.

濱口昌巳，佐々木美穂，薄　浩則，2002：日本国内におけるアサリ，*Ruditapes Philippinarum* のPerkinsus原虫の感染状況.日本ベントス学会誌, **57**, 168-176.

Ishii, R., Kawakami S., Sekiguchi H., Nakahara Y. and Jinnai Y., 2001a : Larval recruitment of the mytilid *Musculista* senhousia in Ariake Sound, southern Japan. *Venus* **60**, 37-55.

Ishii, R., Sekiguchi H., Nakahara Y. and Jmnai Y., 2001b : Larval recruitment of the Manira clam *Ruditapes Philippinarum* in Ariake Sound, Sound, southern Japan. *Fiheries Science*, **67**, 579-591.

石井　亮，関口秀夫，2002：有明海のアサリの幼生加入過程と漁場形成。日本ベントス学会誌，**57**，151-157.

倉茂英次郎，1943：アサリの適正条件としての地盤並び土質の変動，日本海洋学会誌 **3**, 94-117.

倉茂英次郎（遺稿），松村文夫編，　1957：アサリの生態研究，特に環境要因について．水産学集成，東京大学出版会，東京，611-655

中原康智，1998：熊本県アサリ資源の現状と問題，九州沿岸域の主要漁獲種の資源の現状と問題点．水産海洋研究所，**62**, 117-120.

中原康智，那須博史，2002：主要アサリ生産地からの報告一有明海熊本県沿岸．日本ベントス学会, **57**, 139-144,

Officer, C. B., Smayda T. J. and Mann R., 1982 : Benthic filter feeding : a natural eutrophication control. Review. *Marine Ecology Progress series*, **9**, 203-210.

佐々木克之，1989：干潟域の物質循環（総説）沿岸海洋ノート, **26**（2）, 172-190

佐々木克之，2001：アサリの水質浄化の役割．水環境学会誌, **24**, 207-210.

鈴木輝明，青山裕晃，中尾　徹，今尾和正，2000：マクロベントスによる水質浄化能を指標とした底質標準試案一二河湾浅海部における事例研究．水産海洋研究，**64**，85-93.

堤　裕昭，石沢紅子，冨重美穂，森山みどり，坂元香織，門谷　茂，2002：緑川河口干潟における盛砂後のアサリ（*Ruditapes Philippinarum*）の個体群動態，日本ベントス学会誌, **57**, 177-187.

質疑応答

司会「ありがとうございました。ただ今，二枚貝の役割が，物質循環への役割が大きく，干潟が残っていても貝が居なくては浄化能力がないといったお話，それから，淡水供給の減少による干潟生態系への影響解明が必要なのでは，ということとか，あと，覆砂の有効性の理由とか，資源管理の重要性などを，お話し頂きました。時間，参っておりますけれども，先生に，ご質問，受けて頂けるということなので，もし，皆様ご質問がありましたら，一つ二つ出して頂きたいと思います。あっ，どうぞ」

吉岡氏　浦島漁協の吉岡と申します。現在，私の漁協では，アサリ貝というものを主に漁の対象としております。だいたい100名ぐらいの方が，採貝されておりますが，先生が先ほど，おっしゃったようにですね，毎年，98%といいますか，12月の終わりまで，いわゆる100%近い親貝を採っています。という現状で一番悪いサイクルというものをずっと続けております。それで今，4年ほどですね，9月の終わりから10月いっぱいにかけまして，いわゆる，斃死の状態，産卵後の一番弱った時期に，赤潮の影響を受けて死んでしまった，というのを4年間，繰り返して

おります。そうした中で，残った貝を全部採ってしまうというようなことをやっておりましたので，今年は11月で採貝を終わりまして，12月は親貝を残して行こう，そしてまた春，稚貝を購入して，これをまあ地元で，昨年から採れるようになりましたんで，それを入れていこうと，いうふうな気持ちでおりますが，その点，いかがでしょう」

菊池氏 「それはやはり，是非ですね，まず何処からでもそういうところで，実証例ができましたら，それは多分，あちこちに波及して，いい方向に向かうんではないかという気が致します。」

司 会 「ありがとうございました。それでは時間も押しておりますし，総合討論の方に先生のご意見を活かして頂きたいと思います。ありがとうございました」

総　合　討　論

日向野氏「残り時間が少なくなって参りましたんですけれども，私，養殖研究所の日向野と瀬戸内水研の浜口さんの二人で，総合討論を進めさせて頂きたいと思います。まず，最初にですね，全体を通しまして，ご質問とかご意見を頂ければという風に思いますけれども，もしありましたら，どなたか会場の方から頂けませんでしょうか。もしそういうことが無いと言うことでありましたら，今，こちらちょっと準備しておりますけれども，お時間も無いことですので，今後，どういった方向で進んで行けばいいのか，特にコメンテーターの先生方に，だいぶ色々元気付けをして頂くような意味からも，ご意見を拝聴致しましたですけれども，その辺を参考にさせて頂きまして，ここに，キーワードとして，今後の焦点を何に絞るべきかということで，書かせて頂きました。そこにご意見を頂いたりして，この今日の総合討論の内容としてつくって参りたいと思います。で，一応ですね，原理的にここで三つに分けさせて頂きました。それでまず，初期生態の解明と言うことで，先ほど，浜口さんの方から，こういうふうな方向でやりたいということを，冒頭とそれから，浜口さんのご発表のところで，お話がありましたんですけれども，そのお話。それから，比較水域論というのがありましたんで，その点と，それから現場から見て，今，何が必要かと，いうことの三点の所に集中して，ご意見を頂きたいというふうに思っております。まず最初に，初期生態の解明と言うことで，ここに書かせていただいたのは，各地域毎の母貝集団の特定と保護対策ということ，それはまあ親子関係があるのかどうか，どの程度の関係があるのかどうかということ。それからもう一つは，着底初期稚貝の動態と環境について，調べていく必要があるだろうと言うことなんですけれども，この辺に関して，ご意見とか，要望とか，会場の方から頂ければと思いますけど，いかがでしょうか」

須田氏「あの日栽協の須田です。先ほど，最後の話題提供で，浜口さんが，結局，着底稚貝の生化学的な手法による，その，計量を色々と考えてて，その開発の推進を提唱された訳です。話の内容を伺ってまして，これはかなり希望が出てきたなという気が致します。今の段階で非常に重要なのは，あそこに書いてある初期生態稚貝の動態とその環境ですね。この問題に入り込むのに，今，開発されている生化学的な手法というのは，非常に役に立つんだろうと思うんですが，何ていいますか，この手法のエフィシエンシーですね，それを高めるにはやはり実践していく必要があると思います　で，どういう風に実践するかと，いうことについてですね，やはり充分考えなくちゃいけないし，それからあの，ご自身の意見をですね，できれば，教えていただきたいなと思うんです。で，私自身として考えますのは，先ほど日野先生からもおっしゃってましたけれども，干潟という言葉にもう少し幅をつけて，浅海干潟と，ここに何かいいモデルを使って，浅海干潟の動態とそれからそこで生活している貝の生産性というか，その関係をですね，この手法を使って，少し突っ込んでみると，いうことが非常にいい実践の場になるんじゃないかと思うんですけども,何か,それについてお考えがありましたら伺わせて頂きたいと思います」

浜口氏「はい分かりました。それではですね，着底初期稚貝の動態についてということで，今，技術開発してる訳ですけど，それについて，何故かということからお話すると，今のお答えになるかなと思います。例えば今のですね，具体的な地名を出していいのか分からないですけども，九州の小長井漁協あたりではですね，ある有名なアサリの漁業生産者の方がおられて，着底後，動いている稚貝を集積させる方法を実施してるんですね。それによって，その漁業者さんは，基本的には，一応天然に発生している稚貝もうまく使おうということで，非常に簡単な装置で，稚貝を集めるってことをやってる訳なんですね。で，そういったことをみてもですね，あるいは今回，色々なご発表がありましたように，稚貝は相当，動いておりますので，今回，浮遊幼生から何故，この次に入ったかっていうと，実際には，その資源加入に於いて，稚貝として着底して，その後に漁場形成，いわゆる資源加入につながる上で，浮遊幼生はだいたい分かってきましたが，その次の段階である稚貝の動態解明をやらざるを得ないと思います。そして，それは先にお話しましたように，小長井のある漁業者さんが行っているように，その場所に来遊し

てくる稚貝をうまく使うという有効利用方法をですね，今後，提唱していくために，実際そういった着底初期稚貝が，どういうふうに動いているのか，で，最終的にどういうふうな形で，資源添加につながっていくのか，そこを捉えたい訳です。方法論としましては，殻長1ミリを超えますと，だいたい普通，今までの調査で分かりますから，それより前の段階をどう調査するかが判れば，更に詳細に動態が分かるんじゃないかなっていうふうに考えて，そこに技術開発を設定して，それを実際に野外で，証明したい訳です。あと，山本さんのお話でありましたようにも，稚貝は小さければ，相当動きますが，動くということととどこにたまるのかっていう，その辺の所を，ある程度の大きな規模の中でやっていきます。従いまして，大量の試料をどうせ処理することになるわけですから，なるべく簡単で簡易的な定量方法を考案した訳です。で，それで，先ほど申し上げましたとおり，多少でも地場で発生する稚貝をうまく使うと言うところに結びつければですね，基本的には種代を減らすことができて，実収入も増えるかなって，そういう技術開発を目指して，考えております」

須田氏「どうもありがとうございます。もう少しなんというか，場の規模を広げてですね，何か例えば，一つの県単位ぐらいの前に存在する干潟を捉えて，その干潟が，動態ですね，例えば最近10年間で，この干潟がどう変わって，この干潟は，こういう特徴を持ってる，そういう干潟の動態の特徴のつかみ方というのも，これからの技術の問題なんですけれども，それぐらいのスケールで捉えていくとね，今の，浜口さんの手法はですね，干潟の動態の把握にも役に立つんではないかというのを感じたね。僕はもう少し，大きな規模で，お考えになってもいいんじゃないかと思ったんです。今の話，それなりに意味があって，非常に賛成です。どうもありがとうございました」

浜口氏「今，おっしゃられた通りは，その意味もあるんですけども，実際には今回ですね，浮遊幼生の動態でお示ししましたように，アサリの再生産というのは，県単位じゃなくて，もうちょっと大きな範囲で，湾とか灘の単位で，例えば，豊前海，三河湾，東京湾とか，そういった大きな単位で，調査をしていかなきゃいけないと思います。あと，我々は基本的に元・水産庁ですから，いわゆる産業官庁です。従いまして，漁民の方々に，今，こうやってこうやれば，多少なりとも，コストの低減になるとか，利益が増えますよというようなものを提言できればいいなってことを，第一義に考えておりますので，先ほど，ちょっと，ある漁業者さんのご努力を紹介しながらですね，そういったものに対していかに，その，多角的な意味づけをしていくか，あるいは，より効率のいいような形で，そういうある構造物の形状を考えていくことができるのかっていうことに関して，これまで得られたデータも使っていきたいなっていうふうに考えております」

日向野氏「どうもありがとうございます。他に、この初期生態の解明の所について，ご意見等ございますでしょうか」

柳澤氏「愛知水試の柳澤です。今あの，非常に面白い話ができたと思うんですが，水試というような現場の所におりますとですね，色んな起こってくる問題に対処しなければならない。その時にですね，今あるアサリ関係の情報は，多分，何千もあると思うんですが，それがどういうふうに現場に役に立つのか，というところが大きな問題になってくると思うんです。今あの，初期稚貝の話で出ておりまして，非常に重要だと思うのは，数の問題ですね，例えば，1ミリまでの稚貝であれば，平米10の4乗は軽くクリアします。5ミリまででも多分，10の3乗は軽くクリアするでしょう。それで，先ほどあの，東北大の先生が，おっしゃられたように，これだけ大量の稚貝，もっといえば貝類を支えるだけの餌というのは，ちょっと想像がつかない。とすると，たくさん着いた稚貝というのは，どこかで落ちていくと言うことになります。そうすると，たくさんある稚貝を非常にうまい段階で採って，いい漁場に撒くとかですね，密度をうまく低減するとか，そういう極めて具体的な増殖方法，もしくは固体群の管理方法というのが，イメージできると思うんです。その具体的な方にセットすればですね，いままであるいくつかの，何千という地形の中から，そいつを引っ張って，ひとつ，体系を組み上げることが可能だろう，その時に今出ております1ミリから2ミリぐらいの稚貝のところを極めて正確に同定して，その動態を見てというところが，非常に生きてくるだろうと，いうふうに思います。で，案外その手がですね，我が国の場合はまだ横這いで，おたおたしてるんですが，これは非常に

危ない状態で，なんかひとつ狂うとクラッシュするという危機感を持ってますし，非常に減ったところで，どこかにそういう場がセットできれば，非常にうまい管理をしながら，上手に採ればですね，数は確保できる。その辺の所を極めて位置的に意識しながら，これからの研究も進めるべきでしょうし，体系を作るべきだろう，その時に，今の，今出てくる，1ミリから2ミリのところが，埋まれば，かなり具体化するだろうという風に感想しました」

日向野氏「両名，どうもありがとうございました。おっしゃるとおり，今のところで，あの，これに関連しまして，そういう稚貝が，大量に湧いているようなものをですね，早く察知して，移植するような事例について，柳澤さんの方では，そういう，ま，非常にローカルな場合でもいいんですけれども，事例とか，お持ちでしょうか。この前も実は鈴木さんとお話しまして，三河湾奥で4000トンぐらいだったですかね，この夏に大量斃死がありましたですけれども，それもあの，移植をする時期というのが，問題になりますですよね。ま，7月8月は非常に高水温で移植には不適だということで，ま，もうちょっと水温が下がるまで待っててくださいと，いうふうに漁業者の方にお願いしてた矢先に，貧酸素で，大量斃死してしまうと，だったら，試験場のいうこと聞かないで，先に採っちゃえば良かったじゃないかって，いう話になってしまう訳ですけれども，ま，その辺の所が，もっと早い段階での移植が可能であれば，その7月8月になる前に小さい稚貝を移植していくということにつながるのかなっていうふうに思います。で，実は先ほど浜口さんが，例に出されました，長崎県の小長井の漁場で非常に管理の良かった所も，ざっとみても2センチぐらいの稚貝がですね，平米あたり2000個ぐらい分布しているような非常に優良な場所だったんですけれども，ま，これはちょっと密度が高すぎますねっていう話をしていたんです。で，移植しないといけませんねという話をしていた，その10日後ぐらいに，40%ぐらい死んでしまうというようなことが起きてしまいました。ですから，そういうことが，起こることが多くなっているということも，より初期段階で今までは稚貝というか，種苗を移動する，移植をするというのに適していると言われてたサイズよりも，早い段階で，つまり，その夏の過酷な環境を迎える前に，分散させてやるというような戦略をとる必要があるのかなというふうな気が致します　それで，次にもう少し調査の話の中で，比較水域論というようなことで，この中で，どの海域を比較するのか，どの海域をその集中海域とか，それから，集中調査海域とか設定していくか，どこをまあ，そういうのを対象海域にしていくのかという話ですとか，それから，調査方法の統一というのが，出されましたですけど，どういう要素をですね，着目すべきかということで，ご意見を拝聴したいと思います。いかがでしょうか。もしあれでしたら，コメンテーターの先生の方にもう一度，ちょっとその辺の，場の特定というか，どういったところを設けたらいいんじゃないかというふうな話ですとか，調査方法の統一の中に於いて，何の項目というのを必須項目にすべきかとか，いうような形でですね，これだけは必ず押さえるべきだというようなご意見とかが，もし頂ければと思いますけどもいかがでしょうか」

灘岡氏「すぐにはお答え出来るような簡単なご質問じゃないのですけど，比較水域論と言っているのは，さっき私の言い方で言いますと，重点的な調査対象という意味での比較なのか，あるいはその全国ネットという意味での比較なのか，まあ両方の意味があるのかもしれませんが，前者のほうで言うと，少なくともティピカルな特性を持った奴を二つ三つと言うことだと思うんですけれども，そうしますと，比較的健全にまだ保たれているような，例えば，浜名湖とかですね，しかもその調査しやすい，マネージャブルな所とかですね，色んな意味合いがあると思いますが，もう一つは，かなり資源減少が激しい所ですね，まあ有明海なんかはすぐ思いつきますけれども，東京湾の中でも，そういうところもありますが，そういった最低限二つは設定して頂きたいなという感じがします。調査項目についてちょっと，多岐にわたるので私にはちょっと‥‥」

日野氏「比較水域論という意味では，私も考えていたことが，灘岡先生のおっしゃることと全く同じなんです。すでにかなり極限の状態にまで，資源が落ち込んでるとか，そういうところでむしろ調査をするよりは，過度期にあるかなというような，比較的健全なとこですね，そういうところを選ぶという事の方がよろしいのかということを一つ考えます　それから，非常に多元な，

減耗機構が働くような海域を選んだ方がいいと，その海域が非常に同じような状況にある水域で構成されるというようなところよりは，色々な環境が形成されているようなところを選んだらどうだろうかっていうことを思います。ですから当然，そのサンドフラットであるとか，それからサンドフラットであるとかというようなところも組み込まなきゃいけないと思いますので，一つの海域でこれができるとは，とても思っておりません。それから，調査方法って，これはやはり，さっき，ミッシングリンクとおっしゃられた方がいらっしゃいましたけど，その初期稚貝のところですね，まあ，ふるいでやる以前のところから，やらないと初期減耗の一番多いところだと思いますので，資源の減少機構っていうのを，分からないし，その辺のところ，やはり，資源生態学的な手法で，キチンと押さえるのがまず最初，そこから環境要素っていうものが見えてくるのではないかなっていうふうに思っています。まあ，中途半端ですけど，そんなことかと」

浜口氏「はい，ありがとうございます。あの，今回ですね，いくつかの方向性を色々模索できればいいかなと思ってたんですけど，まず，一つは，皆さんでですね，減耗要因を解明するような調査をどういうふうな設定で行くのかっていうことがあったのですけども，それに関してはですね，今，コメント頂きましたように，どこかにですね，適当な，こことここっていう場所を決めて，そこに全勢力を投入して調査し，しかもその調査する項目については，データが同じレベルで比較できるような形で，方法・手法等を統一する中で，やっていくと，で，そういうことの中で，何が制限要因になっているのかっていうのを明らかにしていくっていうのは，これはですね，今回，一日中の発表を聞いててもですね，そういう主旨のご発言が多かったと思いますので，今後，私どもでそういった調査をする場合には，やはり，そういう集中的に，まあどこか2カ所ぐらいを調査して，比較していって，その問題点を抽出して来るという形をとりたいと思います。これについては，だいたい皆さんのコンセンサスが得られたと思うんですけれども，それは，今，コメント頂いたようなとこになると思います。で，たぶんですね，実際にやる中でですね，どういう調査項目が重要かということについては，どういうものを証明するためにっていうのが前提に無いと分からないと思いますので，その辺は，今後，検討する必要はありますけども，いずれにしても，そういった，ある特定の地域に集中調査する中で，まず，何かをやってみるっていうのが一つではないかなっていうふうに考えております。後はですね，もう一つ，最後に，菊地先生の発表の時にご質問頂いた，漁協の方の発言に非常に感動したんですけども，一応ですね，次にはですね，そういった調査手法の他に，やっぱり今後，アサリ，今のアサリ漁業がどうなっているか，そこにどういう手をいれれば良いのかっていうことに関してはですね，漁業者の皆さん方とですね，十分話し合う必要があるのではないかなっていうふうに思いました。その中でですね，やはりあの，柳澤さんが，おっしゃられたような，ある種の一つの方法を提案していく中で，実際の産業上有効な話に持って行ければなと思いますが，一応その，そういうふうな考え方で，よろしいでしょうか，で，後，他にですね，今までの，今の比較海域論を含めてですね，いくつか，あの，実はこう思うって意見がありましたら，お聞かせ願いたいんですけども」

津久田氏「栽培漁業研の津久田です。実は，比較水域論という言葉が出てきた時に，実は僕は，こういう言葉が出てきた背景が非常に気になったんです。ていうのは，アサリの何ていうか，漁業問題といいますか，資源問題といいますか，これは非常に地域性が強いわけですね。そして，資源の状態も，環境の状態も，非常に地域によって違う。で，実は，このような論議が出来たのは，今日，この会場を持てたからなんですね。しかもこのような会議がもてるという条件を確保しておくということが非常に重要でね，で，その辺について，ちょっと，皆さんのほうでお考えになっているのと違う発言をするかもしれないですけど，とにかく，各地域で，別々にアサリの研究をなさっていると，それから，危惧する背景として，日本で，貝の研究者が随分減ってきたと思います。私は，研究所に入ったのは終戦直後で，その頃は，カキの研究者なんていうのはもう日本の沿岸研究の主流っていうような顔で，非常に威張ってたわけですね，それに比べますと，今はもう，貝の研究者って言うのは，魚の研究者に圧倒されちゃって，非常に遠慮されてる。数少ない貝の研究者が，やはり横のつながりを持つと，いうことがもの凄く大

事ですよ。私は，そのために人を確保する。全国的に対して旗を振れるしね。あるいはそういうような組織を確保すると，いうことが非常に大事でありまして，で，この点は強く，それぞれ所属されている機関でですね，ちょっとアピールして頂くと，いうことが大事だと思います。で，特に国にアピールされることは大事だと思います。それはあの，とにかく強く訴えたいです」

日向野氏「どうもありがとうございます。実際にあの，え，石岡さん，はい，お願い致します」

石岡氏「どうしようかなと思ったんですが，比較水域論という言葉が出てて，確かに，皆さんがおっしゃったように，システマティックにある海域の問題をきちっと扱ってくのは，非常に重要なことで，そのことを多分，目指してらっしゃるんだと思うんですけれども，その時に，比較しやすいからとかですね，ここはこういうことだけではなくて，やっぱり，比較する場合の，勿論，比較しやすい条件，必要なんですが，仮説をですね，やっぱり明確にして，ただ機械的に仮説ってことじゃなくて，構造的なってことは，私，強調したいんですが，例えばそこに，今日のお話，ちょっと聞いてまして，色んな条件の連続性って言うのがもの凄く重要だっていうことを，多分，聞き取ることが出来たと思うんですね，餌の問題，それから，食害の問題とか，減耗につながるような，ですか，環境の中の，例えば低酸素水塊の問題にしてもですね，いわゆるその，減耗に関わってどこを分断していくかと，いうところの条件がそれぞれあって，その地域によって，それぞれ特徴があるんですけれども，構成するときに，みんなが全く同じ条件で，それができるか分からないですけれども，少なくとも，ある仮説を立てる中で，そこの中の，どの部分を重点的にやってくよっていうことで，比較しながらやってくというか，そういう構成をして頂ければ，非常にいいし，面白くなるんじゃないかなって思います。それで，そういうことをやって行きますと，つまり，それをどう生産に結びつけるかって技術的なものも考えやすくなるんじゃないかって，そういうふうにちょっと感じました」

浜口氏「今，ご指摘頂いた通りだと思います。実際に比較する中でもですね，どういうものを表現するために，何を比較するのかということをまず考えて行かなければいけないというふうに考えております。そこで，まず最初には，今回の先生方のお話から，ひとつ出てきましたのは，着底のごく初期の段階の稚貝のところを，やってはいかがかってことがありますので，まず，そういったひとつのステージの動態等にですね，焦点を絞り，調査事例を増やしていくっていうのが，当面の形かなっていうふうに思いましたこんな感じで，何らかの話合い等で色々標的を決めて行きたいなって。また，そういった場合には，例えば，ターゲットが変わりますとですね，そこに投入する研究者も替えて行く，専門家を出していくっていう形で，様々な事例に対処する。今日は，風呂田先生のお話を契機に，いくつかのネットワークの話が出たって思うのですけど，風呂田先生のおっしゃる生物ネットワークと，モニタリングのための漁業者さんや民間の方々を含めた調査ネットワーク，そして最後は研究者のネットワークがあると思うんですけども，そういう三つのネットワークをうまく使いながら，やっていければと思います。例えば，こういう問題を解決するには，こういう集団を使って，ここととここの場を調べるといったような，そういう振り分けが出来ればなっていうふうに考えております」

浜口氏「それでですね，最後になって申し訳ないのですけれども，あっ，どうぞ」

浜崎氏「浜口先生が，現場の声を聞きたいと申されました。それで，ちょっとですね，実は，5年前に私，大野町の住民ですけど，ヘテロカプサと，ホトトギスについてお話いただいたときに，ほとんどの漁民がいらっしゃったんです。で，今日来ましてね，来るときに，いや，これ25日前にですね，同業者にためになる話だから行こうで言うたら，行かん言うて蹴られた，みんなに。で，今日来て，あの生産者が，現場の人が，かなり居ると思ったのです。ところが，名簿を見まして，ほんとに僅かなんです。そこでですね，研究者の先生方と，現場の私たちの距離がある。それをですね，5年前に，大野町でお話してもらった時は，みんなが良かったのうと，帰ったのですが，そういうことでですね，ちょっと私は，何か，研究者と現場が，距離があるなと感じました。それで，もう一つ言いますが，去年，大野町にトビエイが入ってきまして，かなりの被害を被りました。で，今年はあの，今年も来たんですけど，9月に大きなのを2匹もらいまして，腹の中を2匹とも綺麗に拡大鏡で

見たんですが，アサリが無いんですね。アサリの影と申しましょうか，それも無いのです。で，私の友達もですね，腹，5匹ぐらい開けて，全然無かったです。これはおかしいと，ひとつ先生方に聞いてみよう，いうようなことをちょっと話ししたんですがね。その他ですね，こりゃ不思議なということがね，まだまだたくさんあるんです。で，研究者の皆さんとですね，も少し，こう，違和感がないようにですね，さっとお話ができるようにしてもらいたいなと，今日，痛切に感じたんです。どうもすみません」

浜口氏「大変貴重なご意見，ありがとうございます。実際にはほんとはそうしたいのですけども，今回はちょっとシンポジウム，企画の段階でですね，実際の生産者の方々と語るって言うようなものではございませんので，その辺は，ご理解頂きたいのです。我々は，先ほどちょっと，小長井のアサリの漁業者さんの話をしましたけど，やはり現場でアサリを見られている皆さん方が，アサリを一番よく知っているだろうってことで，今，ご提案頂きましたように，現場から見て，今は何が問題かあるいは必要かっていうのを議論したいと思っております。現場の皆さんと，そして我々研究者自体がですね，ちゃんと話し合うことによって，今後は，現場に生きるような研究をどういうふうに組み立てていくかっていうふうに考えたいと思っておりますので，機会を作ってゆきたいと考えております。ただ，私どもの研究所は大野町にありますので，大野町の漁業者のかたでしたら，瀬戸内水研にもどんどん来て頂いてですね，常にお話ができればなっていうふうに考えております。で，今回ちょっと，プログラム構成上の問題でですね，そういうところは欠けてしまいましたけれども，また，いつか形を変えてですね，我々の研究成果についでもですね，皆さん方に分かりやすいような形で詳しく説明してですね，話せるような機会は別なときに，設けさせて頂きたいなっていうふうに考えております。他には何か，ご意見とかございますか。はい」

檜山氏「山口県の檜山と申します。現場に近い研究の立場からということで，意見をさぐらせて頂きたいですが，アサリの種苗生産については，我々はもう10年以前ぐらいから始めてて，今，各県，非常に努力されてですね，かなり種苗が出来る段階になってると思うのですね。それがあの，今度，中間育成するとかですね，それから，後，放流とかですね，そこら辺になると，まだ技術が発達してなくて，ただ今はつくって，小さいのを放流するだけと，ある程度ですね，金をかければ，まあ，中間育成もできるけど，非常に数が限られると，いうふうなことで，現場としてはですね，これを果たしてその，栽培の方に持っていけるのかどうかとかですね，非常に疑問を感じながら仕事してるっていう訳なんですね。我々はまあ，今のところ，どうもコストを考えてですね，天然資源の方が安いから，漁業者に言っても，とてもこれは使ってもらえないんじゃないかと，いうふうな部分もあるものですから，ある面では，これはですね，一つの研究のツールみたいな形で使って行こうということで，種苗の履歴も分かってる，健全な種苗であると，いうふうなことからですね，これは一つ，そういう面では使っていくんですが，やはり，現場にですね，何か応用して，将来，産業的に結びつけるものをですね，何か技術的に開発したいという思いがあるものですから，そこら辺についてですね，こういった全体の，特に放流あたりについてはですね，減耗要因が分からんことには放流してもしょうがないのじゃないかとか，という話もありますので，環境改変も含めてですね，そういうのが役立てるような，研究をしながら，こういった人工種苗の放流についてもですね，ある程度，水産庁さんの方でも，予算をたくさんつけて頂きたいという要望です」

日向野氏「はい，どうもありがとうございました。最近，外国産の種苗が，入って来ているような状況もありますので，やはり，産業規模に展開するのには，現在まだ問題あるかもしれませんけども，少なくとも，放流した種苗の生き残りとか，そういったことを調べていくためのプールとして，人工種苗を使っていく有効性というのは重要じゃないかなというふうに考えます。えー，鳥羽さんもご意見あるようですね」

鳥羽氏「あの，先ほどの漁業者の方の話を聞いておりまして，ほんとにそう思うんですが，私，あの，水産試験場ですので，今回ここにお集り頂いている方っていうか，ご発表頂いた方もほとんど研究者の方なんですけれども，どちらかというと私は現場に近い方なんです。で，やはりこう，日頃何かをやっているときに必ず言われるのが，これだけ少なくなっちゃったのをどうすればいいんだよ，というのを言われるんですね。その時に，まあ，確かにこういう形で，何とか増や

すような原因究明をして考えていきましょうと言う話を一方ではするんですが，それはすぐに明日だとか来月だとかには絶対間に合わない話で，理屈は分からないんだけれども，とにかく増やすための何かをやらなくちゃいけないということで，常にこう，追われてるような感覚はあるんです。ですから，今回のシンポジウムは，たまたまこういう形で，その一方の，これからの原因究明とか，その原因究明をした暁には何らかの形でそれを改変していこうというような，そういう方向なんですけども，もう一つの柱として，やはり，理屈は分からないけども，とにかく今の現状を良くして行かなきゃいけないんじゃないかという，現場対応の話というのが，必要だと思うんですね，だけど，これは，この凄く難しいです。お金もかかりますしね。実際に今まで，沿整事業みたいな形で，色々な工法，たとえば作澪をやったりだとか，覆砂をやったりだとか，色んな事をやりましたけど，それでいてそれが全てうまくいったという例は，言ったら申し訳ないけども，それ程多くはないのですね。それでもの凄くお金かかります。ですから，そういうこと考えると，じゃあこれから何をやるのだといった時に，じゃまた作澪やりますか，という話が，ちょっとすぐには頷けないですね。じゃあ何をやるかという話になると，そこが一番，頭の絞りどころと私も思ってるところなのですが，とりあえず一つお願いできるのは，漁業者の方たちに，やはり，森に木を植える漁業者の方の話も出しましたけど，今，アワビだって大事にして育てると言うことを，とにかくやらなくちゃいけない，実際にアワビはそう。その保護することについては，例えば網をかけるだとか，流出防止用の塀を建てるだとかいう，そういう現場の技術というのを，水産試験場は細かいことを出してるところもあると思う，これはまあ，今まで漁業者の方たちにとっては，やってこなかったことなんで，手間をかけて，そして実入りが増えるかどうかまだ分からないと言うところですから，これについてもちょっと取り組みにくいところがあるかもしれません。でも，そういうことをやらないと，今とはかわらないということになります。で，我々の方としても，今までやっていた現場をいじるという方策じゃなくて，現にこれだけ，初期生態の方で色んな知見が集まっている訳ですから，例えば干潟の方の沖にいるやつが，段々，干潟に入ってきて，いつ頃，どの場所に着底するよ，みたいな話が分かったら，じゃあそれを，干潟に入ってきた奴を何とかこう，そこに着底してもらうような方法を考えようじゃないか，みたいな，そういうようなアイディアも出てくるかもしれません。技術の話としてですね，我々の方でいうところのそういったような，とにかく，理屈は分からないけれども，現場に応用できるみたいな話を，これはもう，アイディアを出していくという勝負になると思いますけども，できるだけ大勢の方に，色んな形で考えて頂きたい，で，これは，ダメもとみたいなとこが多分にあるんで，非常に疲れる話になると思うんですけれども，でも，それは非常に重要な，もう一方の知恵だと，私は思っています」

浜口氏「えーと，終了の時間が過ぎておりますけども，もう少しだけ，皆さんと議論させて頂きたいのですけど，これに関連して，ご発言されたい方が居ましたら，どうぞ」

伊藤氏「北水研の伊藤です。簡潔に述べたいのですが，私はこの初期生態の調査に，それは今までたくさん重要性は述べられてきましたけども，そのことじゃなくて，出てきた意見を聞いてて，大変に重要だと思ったことを含めながら，意見を述べさせて頂きたいと思います。初期生態が分かったら，その後，どのような生活過程をたどるのかってことは，大変，重要なことです。そして，その時に，日野先生もおっしゃったけど，人的攪乱ってのが，実は調査上，大変な問題です。それをどうするかというと，地域，漁業者の協力が無ければできない訳です。ですから，そういう意味で，我々研究者集団だけでの話ではないということ，そのようなフィールドをどのように確保するのかという，非常に大事なことです。そういうことを思いあたるのは，思い至ったのは，実は北海道ですけども私は，北海道というところは，場合によっては，そういうことが可能です。いつも可能ではありませんけども，それは全国と同じように，漁業は経済行為ですから，それを止めさせてまで，評価をすることはできないのは当然です。ただし，問題があってそれを解決したいときに，そのような人的攪乱が起きないようなフィールドを確保するってことに対する一定の理解があるのです。だから，そのようなことは大事なことなんです。それから，資源管理ということも，菊池先生がおっしゃっておりましたように，非常に大事だ

と思います。これもまあ，私の経験ですけども，北海道がいいという訳じゃありません。かなりいいということであって，問題を抱えてないという意味ではありません。ただし，北海道は具体的な紹介は別の機会にしたいと思いますけども，4センチ以上のものを採ってるということを，です，つまり，そういうことができる素地はあるという。ただそれは，だからといって4センチのものを採ればいいということじゃなくて，それは，色んな条件を抱えてますから，早く採らなきゃなんないということもありますから，そういう意味合いではなくて，資源管理を何のためにやるかっていう時に，我々でも持たなきゃいけないことですね。そういうときに実際に出来るって事は，漁業者レベルでそういうコンセンサスがあるということですね。それが大事であって，内容については，その海域特性になってるんです。そのようなことが多分，この初期生態が分かった以後にどのような展開があるのかっていうことが，地域と一体となった，まず，漁業者の方の協力を得ながらですね，より，具体的で，正しいデータを積み重ねるというのが大事だと思いますので，その辺をひとつアピールした方がいいのじゃないかと思います」

日向野氏「はい，どうもありがとうございました。ええと，もうひとつ，もう一題ぐらい，お受けいたしたいと思いますけども，いかがでしょうか」

寺脇氏「瀬戸内水研の寺脇と申します。あの，今日一日，勉強になりました。で，今のこの議論で，3で述べるのですけど，1にも2にも関係すると思うのですが，菊池先生のご講演の中で，テキストだと20頁の下から3行目なのですけども，紹介ありました，その，海底の粗砂を干潟に撒くとそこだけ稚貝が大量に定着し，生き延びて成長する，というのがとても気になりまして，で，これ聞いて，私の頭に浮かんだのは，広い干潟の，どうもアサリの育たないような環境の中に，人が人為的に，アサリが生き残って採れる場所をつくった斑点のようなものが見えるわけです。そうすると，アサリ漁業は，漁業者の方がプロですので，既に，そこではその与えられた条件の中で，解決された部分があるのですよね。ただ，理由が分からないとか，一般化しにくいとか，なので，ここから先を研究して情報を出すのが，研究者の仕事になってつながると思うんです。だから，こういう現象を，それこそ最新の技術を導入して，仕上げるというのが，とても，研究からいうと実験生態だし，実証試験ですし，遠くを比べなくて良くて，育っているところとすぐ隣の育たないところが比べられる，というところにあると思うので，これでつながるんじゃないかと思いましたので意見しました。以上です」

日向野氏「はい，どうもありがとうございました。先ほどの比較水域論というような形の論議とも共通するとは思いますけれども，システムがうまく回っているところと，そうでないところを比較していく，その時のツールとして，浜口さんが今，お考えになっていて，提案されているような，初期生態を解明するための同定手法の開発ですとか，あるいは生理学的な評価手法の開発といったものが，役に立っていくと思います。それで，ええ，もっと議論を深めたいところではあるのですけども，もう時間が来てしまいましたので，締めて行かなくてはならないということになってしまいました。それで，私どもの，このシンポジウムを企画しましたのは，情報を披露し合って今回で終わりにしてしまうということではなくて，今後，こういう交流をきっかけに，特に，私どもはあの，水産研究センターで仕事をしておりますので，アサリの産業をもう一度，振興するために，どういう面からアプローチできるのか，それから，先ほども二つのネットワークというようなことを，浜口さんが言われましたけども，どうやってその研究協力体勢を築いていくのか，で，具体的な研究，それから，事業の転換に結びつけていくのかということのきっかけ，あるいは起爆剤というふうな形になればいいなということを意図致しました。準備がちょっと不十分なところもあって，完全に意志が統一されないままスタートした部分もありましたのですけれども，今後，今日の論議をふまえまして，これからのプロジェクト研究の提案ですとか，それから水産庁の事業の方向性を決める時の材料にさせて頂きたいというふうに考えております。会場に今日，お越しの皆様，160名余り，大勢集まって頂きました。それから，ご講演の先生方，それから，今回の準備に非常にお時間を割かれました瀬戸内水研の浜口さんはじめ皆様方に，深く感謝申し上げたいと思います。どうもありがとうございました」

司 会「どうもありがとうございました。それではあの，閉会にあたりまして，瀬戸内海区水産研究所企画連絡室長，關哲夫よりご挨拶申し上げます。

よろしくお願いします」

關　氏「皆さん，どうも本日は朝から，大変，熱心なご討議，どうもありがとうございました。特に本日は，新しいツールを持って，仮説をたててシンポジウムを企画して，今般，色々な問題が上がっておりますアサリの，いわゆる浅海干潟のシンボルとも言われるアサリの問題についてですね，新しい切り口という観点から，シンポジウムを企画して，その内容について環境の観点と初期生態の解明の観点からですね，勇気を持って色々な話題を提供いただきました話題提供者の方々，それから，そのテーマに限らずですね，広範な資源管理，並びにベントスの研究の立場から，その他の問題もお示し頂きました菊池先生のご講演。それから，この初期生態の重要性につきまして，関係する研究の進め方について，ご意見を賜りましたコメンテーターの灘岡先生，並びに日野先生，どうもありがとうございました。それから，このシンポジウムを，かくもきっちりと企画頂いたコンビナーの浜口さん，日向野さん，大変ご苦労さまでした。それから，会場にお集まりの皆さんには，大変，熱心な討議を頂きまして，今後の方向性を示して頂きまして，大変，感謝申し上げます。これで，非常に新しいツールとしての初期生態の進め方等についての論議は，大変，この会場にお集まりの皆さんには，ご理解を頂けたものと思います。水研センターのシンポジウムをこのように企画致して頂いた本部の方々にも，感謝を申し上げたいと思います。で，今後，私ども，関係する研究機関の今後の方向としてはですね，この会場にいらっしゃらない方々への，この初期生態等の重要性を理解して頂く努力を，今後につなげて参りたいと思います。今日は本当に長い間の論議，ありがとうございました。これにて，シンポジウムを閉じさせて頂きます。どうもありがとうございました」

開催日：平成１４年１１月１３日
会　場：広島国際会議場、地下２階、ダリア①
コンビーナー：浜口昌巳（瀬戸内海区水産研究所）
日向野純也（養殖研究所）

水産総合研究センター研究報告　別冊第３号
Bulletin of Fisheries Research Agency Supplement No.3

編集責任者　薄　浩則
浜口昌巳

平成17年３月　発　行

発　行　所　独立行政法人　水産総合研究センター
〒220-6115　神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3
クイーンズタワーＢ15階
Fisheries Research Agency
Queen's Tower B 15F , 2-3-3, Minato mirai, Nishi-ku, Yokohama,
Kanagawa 220-6118, Japan
http://www.fra.affrc.go.jp

発　行　者　川口恭一

印　刷　所　株式会社 今田印刷

ISSN 1346-9894

BULLETIN OF
FISHERIES RESEARCH AGENCY

Supplement No.3
March 2005

Bull.Fish.Res.Agen.

CONTENTS

Special issue: Problems of Bio-productive environment supporting the production of the short-necked clam and new approaches in research

Preface

Session 1: Problems in environments surrounding short-necked clams

① Biological production process and food environment for bivalves in tidal flat.
Kinuko ITO, Toshiki KAGA, Koichi SASAKI, and Michio OMORI ····· 1

② Sediment environment and the characteristics on the fishing ground of *Venerupis philippinarum*.
Masaaki YAMAMOTO ····· 17

③ Influence of environmental factors as oxygen deficiency, hydrogen sulfide and suspended mud on the survival and growth of Manila clam.
Junya HIGANO ····· 27

④ Importance of network system among benthic-animal local populations in bay waters.
Toshio FUROTA ····· 35

⑤ Summarization by commentators (Session 1) ····· 47

Session 2: Recent knowledge about larval ecology of short-necked clam

① Larval abundance, distribution, and size composition of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay
Tomoyuki KASUYA ····· 51

② Numerical simulation on advective process of planktonic larvae of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay
Hirofumi HINATA, Koji TOMISU ····· 59

③ Larval transportation and settlement mechanism to tidal flat in Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum*.
Nobuo KURODA ····· 67

④ Immunological and molecular biological technique for identification of early life history stages of short-necked clam, *Ruditapes Philippinarum*.
Masami HAMAGUCHI ····· 79

⑤ Summarization by commentators (Session 2) ····· 83

Special lecture

Some comments on recovery of the manila clam resource and present state of inshore ecosystem
Taiji KIKUCHI ····· 87

Discussions ····· 93